



2015

VIII CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA

RETOS DE LA NUEVA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA

ORIHUELA - ALGORFA

1 a 3 de junio de 2015

LIBRO DE ACTAS

LIBRO DE ACTAS VII Congreso Ibérico de Agroingeniería

Organizan



VIII CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA LIBRO DE ACTAS

Autor:

Ricardo Abadía Sánchez

Carmen Rocamora Osorio

Herminia Puerto Molina

ISBN:

978-84-16024-30-8

Edita:

Universidad Miguel Hernández de Elche

Maquetación:

Servicio de Innovación y Apoyo Técnico a la
Docencia y a la Investigación UMH

Nota del editor:

Los textos de esta publicación y su revisión
ortográfica son responsabilidad de los autores

Fecha de edición:

21/10/2016

Patrocinadores



Colaboradores



"Los trabajos incluidos en este volumen fueron presentados en el Congreso citado en la portada y el título. Todos los trabajos publicados han sido sujetos a una revisión por pares por el Comité Científico de este Congreso. Algunos de los trabajos presentados en la Conferencia pueden no estar disponibles en esta publicación. Los artículos publicados en este volumen reflejan la obra y el pensamiento de los autores y se publican en el presente documento tal y como ellos lo han presentado. Los editores no se hacen responsables de la validez de la información ni de los contenidos que en ellos se presentan. Los trabajos aparecen en este volumen según el orden de envío y presentación en el Congreso.

The papers included in this volume were part of the technical conference cited on the cover and title pages. Papers were selected and subject to peer review by the editors and scientific committee. Some of the conference presentations may not be available for publication. The papers published in these proceedings reflect the work and thoughts of the authors and are published herein as submitted. The publisher is not responsible for the validity of the information or for any outcomes resulting from reliance thereon. Papers are published in the order they were submitted.

Por favor utilice el siguiente formato para citar los trabajos presentes en este volumen/ *Please use the following format to cite material from this book:*

Author(s) (2016). Title. In "VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería: Retos de la Nueva Agricultura Mediterránea" (ed. UMH), pp. XXX-XXX, Orihuela-Algorfa.

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License](#)

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La publicación recoge los trabajos completos presentados en el VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Agroingeniería 2015. Este congreso está respaldado por la Sociedad Española de Agroingeniería (<http://www.agroingenieria.es/>) y la Secção Especializada de Engenharia Rural - Sociedade de Ciências Agrarias de Portugal (<http://scap.pt/>). Estas sociedades tienen como fin apoyar, conducir y enriquecer el papel actual de la ingeniería, y promover su avance, en las actividades de investigación, desarrollo, innovación, enseñanza, transferencia, producción y comercio, propias de los sectores agrícola, ganadero, forestal y alimentario.

Constantemente, el congreso es una referencia para la comunicación de los avances obtenidos en el campo de la Ingeniería Agronómica y Forestal. Esta consideración se ha visto avalada por la participación de más de 100 Congresistas de España, Portugal, Brasil y otros países Iberoamericanos.

Para garantizar la calidad científica de las comunicaciones, dos miembros del comité científico revisaron cada uno de los artículos presentados, sugiriendo, en su caso, mejoras en la calidad de los trabajos presentados.

DERECHOS DE AUTOR

La Sociedad Española de Agroingeniería y la Secção Especializada de Engenharia Rural - Sociedade de Ciências Agrarias de Portugal poseen todos los derechos morales de propiedad intelectual sobre la obra y sus contenidos, incluyendo las imágenes en ella insertadas.

La Universidad Miguel Hernández posee todos los derechos de explotación de la obra y sus contenidos y se reserva el copyright de la misma. La publicación en otros medios de parte del contenido de la obra habrá de solicitarse formalmente a la Comisión Delegada de la Propiedad Intelectual e Industrial de la UMH.

*VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería
(Orihuela - Algorfa, 1-3 de Junio de 2015)*

Comité de Honor

Magfco. y Excmo. Sr. D. Jesús Tadeo Pastor Ciurana (Rector Universidad Miguel Hernández de Elche)
Ilma. Sra. D^a Luisa Pastor Lillo. (Presidenta de la Diputación de Alicante)
Excmo. Sr. D. Monserrate Guillén Sáez (Alcalde de Orihuela)
Ilmo. Sr. D. Antonio Lorenzo Paredes (Alcalde de Algorfa)
Sr. Director D. Juan José Ruíz Martínez (Director de la EPSO)
Dr. Jaime Prohens (Presidente de la SECH)
Dr. Pedro Aguado Rodríguez (Presidente de la SEAIng)

Comité Organizador

Co-presidentes

Dra. Carmen Rocamora Osorio. Dpto. Ingeniería - UMH
Dr. Ricardo Abadía Sánchez. Dpto. Ingeniería - UMH

Secretaría

Dra. Herminia Puerto Molina. Dpto. Ingeniería - UMH
Dra. Fátima Baptista. Universidade de Évora

Vocales

Dr. José Carlos Barbosa, Instituto Politécnico de Bragança
Dr. José María Cámara Zapata. Dpto. Física y Arquitectura de Computadores - UMH
Dra. M^a Teresa Ferrández García. Dpto. Ingeniería - UMH
Dr. Manuel Ferrandez-Villena García. Dpto. Ingeniería - UMH
Dr. Antonio Martinez Gabarrón. Dpto. Ingeniería - UMH
Dra. M^a Desamparados Melián Navarro. Dpto. Economía Agroambiental, Ing. Cartográfica y Expresión Gráfica en la Ingeniería - UMH
Dr. Joaquín Julián Pastor Pérez. Dpto. Ingeniería - UMH
Dr. Antonio Ruiz Canales. Dpto. Ingeniería - UMH
Dra. María Serrano Mula. Dpto. Biología Aplicada - UMH
Dr. Luis Leopoldo Silva. Universidade de Évora
Dr. Daniel Valero Garrido. Dpto. Tecnología Agroalimentaria – UMH

Colaboradores

Yolanda Rocamora Mora. Dpto. Ingeniería - UMH
Marina Cartagena Gonzalez. Dpto. Ingeniería - UMH
Javier Ferri Llopis. Dpto. Ingeniería - UMH

*VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería
(Orihuela - Algorfa, 1-3 de Junio de 2015)*

Comité Científico

Dra. Esperanza Ayuga Téllez. Universidad Politécnica de Madrid
Dr. Francisco Ayuga Téllez. Universidad Politécnica de Madrid
Dr. José Blasco Ivars. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
Dr. Martín Barrasa Rioja. Universidad de Santiago de Compostela
Dr. Antonio Brasa Ramos. Universidad de Castilla La Mancha.
Dr. Emilio Camacho Poyato. Universidad de Córdoba
Dr. Salvador Calvet Sanz. Universidad Politécnica de Valencia
Dra. Rosario Castro Abengoza. Universidad de León
Dr. Vasco Fitas da Cruz. Universidade de Évora/ICAAM
Dr. Antonio Dias. Universidade de Évora/ICAAM
Dr. Luis Jorge Martinez Ferreira. Instituto Superior de Agronomia. Universidade de Lisboa.
Dr. Jose Antonio Flores Yepes. Universidad Miguel Hernandez de Elche
Dr. Jose Luis García Fernandez. Universidad Politécnica de Madrid
Dr. F. Javier Garcia Ramos. Universidad de Zaragoza
Dr. Eugenio García Marí. Universidad Politécnica de Valencia
Dr. Emilio Gil Moya. Universidad Politécnica de Cataluña
Dr. Jose Manuel Monteiro Gonçalves. Escola Superior Agraria de Coimbra
Dra. M^a Angeles Grande Ortiz. Universidad Politécnica de Madrid
Dra. Rosa Penélope Gutierrez Colomer. Universidad Politécnica de Valencia
Dr. Diego Intrigliolo Molina. CEBAS, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Dra. Ana Martí de Olives. Universidad Miguel Hernandez de Elche
Dr. Bernardo Martin Gorriz. Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Victoriano Martinez Alvarez. Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Andres Martinez Rodríguez. Universidad de Valladolid
Dr. Juan Martinez Tomé. Universidad Miguel Hernandez de Elche
Dr. Pablo Melgarejo Moreno. Universidad Miguel Hernandez de Elche
Dr. Enrique Moltó García. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
Dr. Miguel Moreno Hidalgo. Universidad de Castilla La Mancha
Dr. Manuel Moya Ignacio. Universidad de Extremadura
Dr. Miguel Angel Muñoz García. Universidad Politécnica de Madrid
Dr. Luis Manuel Navas Gracia. Universidad de Valladolid
Dr. Miguel de Castro Neto. ISEGI. Universidade Nova de Lisboa
Dr. Enrique Ortí García. Universidad Politécnica de Valencia
Dra. Coral Ortiz Sanchez. Universidad Politécnica de Valencia
Dr. Montano Pérez Teruel. Universidad Politécnica de Valencia
Dr. Enrique Relea Gangas. Universidad de Valladolid
Dr. Juan Antonio Rodriguez Díaz. Universidad de Córdoba
Dr. Francisco Rodríguez Díaz. Universidad de Almeria
Dr. Francisco Rovira Mas. Universidad Politécnica de Valencia
Dra. Margarita Ruiz Altisent. Universidad Politécnica de Madrid
Dra. Ana Cristina Aculheiro Santos. Universidade de Évora/ ICAAM
Dr. Fernando Santos. Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro
Dr. Luís Filipe M.A. Ramada Souto. Universidade dos Açores
Dr. Jose Rafael M. Silva. Universidade de Évora/ICAAM
Dr. Mariano Suarez de Cepeda Martinez. Universidad de Castilla La Mancha
Dr. Ricardo Suay Cortés. Institut Nacional de la Recherche Agronomique Sophia-

Antipolis, Francia

Dr. Jose M^a Tarjuelo Martín-Benito. Universidad de Castilla La Mancha

Dr. Antonio Torregrosa Mira. Universidad Politécnica de Valencia

Dr. Luis Val Manterola. Universidad Politécnica de Valencia

Dra. M^a Isabel González Barragán. Escuela Superior de Ingeniería Agraria "INEA",
Valladolid

Dra. Concepción González García. Universidad Politécnica de Madrid

Dr. Paulo Rema. Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro

Dr. Francisco Lúcio Santos. Universidade de Évora/ICAAM

*VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería
(Orihuela - Algorfa, 1-3 de Junio de 2015)*

Entidad Organizadora:

Universidad Miguel Hernández de Elche. U.M.H

Entidades Científicas Auspiciadoras:

Sociedad Española de Agroingeniería - SEAgining.
Secção Especializada de Engenharia Rural - SCAP

Empresas y Organismos Patrocinadores:

Multi Scan Technologies

Este congreso ha sido financiado por el INIA en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, 2013-2016, a través de la acción complementaria AC2014-00015-00-00, cofinanciada con fondos FEDER 2014-2020 en el marco del “Programa Operativo de Crecimiento Inteligente”.

Empresas y Organismos Colaboradores

Diputación de Alicante
Excmo. Ayuntamiento de Orihuela
Excmo. Ayuntamiento de Algorfa
Moval Agroingeniería, S.L.
Hidroten, S.L.
Agrosolmen, S.L.

ÍNDICE DE TRABAJOS

SESIÓN I: ENERGÍA	16
<hr/>	
E01- A expansão da cana-de-açúcar em direção ao cerrado no Estado de Goiás – Brasil.....	17
E02 - Potencial de generación de electricidad con codigestión de residuos agroganaderos en la región de Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil	26
E03 - Análisis comparativo y determinación del sistema óptimo para la electrificación mediante energía fotovoltaica en el ámbito agrario	37
E04 - Análisis y predicción del consumo eléctrico de un invernadero en el sudeste de España.	45
E05 - Modelado de la irradiancia térmica atmosférica orientada al control climático en invernadero.....	56
E06 - Influencia de la textura del suelo sobre el dimensionado de sistemas de riego fotovoltaico.....	68
E07 - Evaluación de metodologías para la generación de años de referencia para sistemas fotovoltaicos.....	79
E08 - Estudio de algunos factores críticos relacionados con el consumo energético en la elección de módulos fotovoltaicos para su instalación en una explotación agraria específica.....	88
E09 - Avaliação de Consumos Energéticos em olivais intensivos e super-intensivos....	95
<hr/>	
SESIÓN II: INGENIERÍA DEL REGADÍO	105
<hr/>	
R01 - El riego agrícola con agua marina desalinizada: principales cuestiones agronómicas a considerar	106
R02 - Influencia del caudal de rotura y la rugosidad del terreno en la clasificación de balsas según su peligrosidad	118
R03 - Caracterización de la caída de presión en filtros granulares con arena y vidrio reciclado.	131
R04 - Reducción de la caída de presión en un filtro de medio granular mediante un nuevo diseño de su drenaje	142
R05 - Evaluación agro-hidrológica del sistema de riego localizado de un olivar en seto con HYDRUS 2D/3D	150
R06 - Optimización del riego y consumo de agua en jardines verticales exteriores a solución perdida en clima mediterráneo seco	159
R07 - Optimización del diseño de subunidades irregulares de riego a presión.....	171
R08 - Evaluación de la obstrucción de diferentes emisores bajo riego subterráneo	181
R09 - Estructura de datos para la gestión integrada de redes de riego en jardinería urbana	189
R10 – Influência dos fatores geométricos de drenos (crepina) no comportamento hidrodinâmico de filtros de areia	199
R11 – Influência dos fatores geometricos da placa difusora de filtros de areia sobre a deformação do leito filtrante	208
R12 - Análisis de la influencia de las condiciones de operación en la pérdida de rendimiento de bombas sumergibles en sondeos.	219
R13 - Desenvolvimento inicial de uma espécie nativa do cerrado brasileiro em função de diferentes susbtratos e cinco lâminas de irrigação	231

SESIÓN III: MECANIZACIÓN	241
M01 - Análisis del proceso de implantación de la inspección de equipos de aplicación de productos fitosanitarios en España.....	242
M02 - Evaluación de la uniformidad de distribución en equipos para la aplicación de microgránulos en el suelo	250
M03 - Curvas de desprendimiento en la recolección mecanizada de oliva mediante el análisis de las imágenes de las ramas en movimiento	259
M04 - Evolución del carbono orgánico del suelo (1983-2013) con tres sistemas de laboreo, en un monocultivo de cereal en ambiente semiárido.	265
M05 - Estimación de las emisiones de CO ₂ (1986-2014) con tres sistemas de laboreo, en una rotación cereal leguminosa en ambiente semiárido.	275
M06 - Colheita mecânica de azeitona baseada em vibrador de troncos – atualização de custos.....	285
M07 - Análisis CFD del comportamiento de las gotas pulverizadas con un turboatomizador durante los tratamientos fitosanitarios en cítricos.....	293
M08 - Efecto de boquillas de baja deriva y convencionales sobre la deriva y el control de <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell) en cítricos.....	299
M09 - Comportamiento de un vibrador de troncos orbital sobre un poste de acero empotrado en zapata de hormigón.....	308
M10 - Hacia la integración de los sistemas sacudidores de copa en olivar tradicional.	316
M11 - Desarrollo y primeros resultados de una aplicación móvil para la pre-inspección de equipos de tratamientos fitosanitarios	326
M12 - Avaliação do efeito do corte horizontal da copa, com máquina de podar de discos, em pomares de pera “Rocha”	336
SESIÓN IV: CONSTRUCCIÓN	347
C01 - Análisis experimental de esfuerzos en un invernadero “raspa y amagado”.....	348
C02 - Análisis estructural de pórticos simples de acero a dos aguas en situación de incendio.....	358
C03 - Metodología para la cuantificación del impacto visual de materiales y detalles de fachada en edificación rural.....	371
C04 - Evaluación de tableros ecológicos fabricados con residuos de carpintería	380
C05 - Estudio de las propiedades de placas de cemento mejoradas con almidón.....	387
C06 - Aprovechamiento de la biomasa generada en la poda de los frutales: comparativa entre cítricos y <i>Prunus</i> sp.....	393
C07 - Desarrollo de bioproductos de palmera (<i>Phoenix canariensis</i> , <i>Washingtonia robusta</i>) orientados al secuestro de carbono.....	399
C08 - Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia de los áridos convencionales en las propiedades resistentes.....	405
C09 - Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia del agua efectiva en la relación agua/cemento.	416
C10 - Influencia de la adición de nano-sílice en hormigones prefabricados para alojamientos de ganado.	428
C11 - Análisis de las acciones variables de viento y nieve según C.T.E. en construcciones agroindustriales de pórticos metálicos.	439
C12 – Evaluación del sobrante de agua de amasado sobre la pérdida de resistencia en morteros de sulfato calcico adicionados con vermiculita.....	446
C13 - Estudio de las variables de diseño en bodegas de Rioja.	454
C14 - Análisis de las propiedades de tableros de partículas de palmera (<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl) y de caña común (<i>Arundo donax</i> , L.)	461
C15 - Estudio de una aplicación agroindustrial de paneles de residuos de morera (<i>Morus alba</i> L.)	468

C16 - Aplicación de una metodología de inspección de obras de paso en una red de caminos rurales de Extremadura	474
C17 - Optimización de estructuras de invernaderos multitúnel por medio de algoritmos genéticos.	485
C18 - Cálculo de espesores de firme en caminos rurales	496
C19 - Relación entre las diferentes presiones medidas en distintas partes de un silo de 18,5 m ³ en ensayos de explosiones de almidón de maíz.....	508
C20 - Análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarillado simple y doble en madera estructural.....	516

SESIÓN V: PROYECTOS, MEDIO AMBIENTE, Y TERRITORIO 528

P01 - Aplicación de redes de sensores inalámbricas para seguimiento microclimático en parcelas de frutales con riesgo de helada	529
P02 - Valoración de Activos Ambientales. Revisión de los principales métodos tradicionales de valoración de activos ambientales y sus aplicaciones.	540
P03 - Metodología para evaluar el impacto visual de viviendas en el entorno rural y contribuir a su adecuada ubicación y diseño	553
P04 - Comparación del valor económico del arbolado urbano mediante encuestas con fotografías en dos estaciones del año.	560
P05 - Alternativas productivas en comunidades campesinas para la recuperación de bosques degradados en Quimilí Paso, Departamento de Salavina, Santiago del Estero (Argentina).....	570
P06 - Seguimiento de las propiedades agronómicas de un suelo de regadío bajo cultivo ecológico.....	582
P07 - CarbonFT. Estimación de la huella de carbono en plantaciones de cítricos mediante dispositivos móviles.....	589
P08 - Qualidade fisiológica de diásporos de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. All. (Anacardiaceae) submetidos a diferentes substratos e temperaturas	596
P09 - Contribuição para a componente agro-ambiental da Intervenção Territorial Integrada de Castro Verde - Portugal.....	607
P10 - Efeito do sistema cultural na qualidade do azeite na região do Baixo Alentejo - Portugal	616
P11 - Detección de cubiertas agroindustriales eficientes energéticamente con tecnología lidar.	625
P12 - As curriças tradicionais do Nordeste Transmontano. Dados preliminares do estudo para a sua inventariação e valorização.	631
P13 - Gestión de vegetación autóctona mediterránea para minimizar el impacto producido por un campo de golf.....	639
P14 - Espacialização e Estrutura de <i>Pilosocereus pachycladus</i> F. Ritter (Cactaceae), no Agreste da Paraíba, Brasil	650

SESIÓN VI: TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS..... 660

TI01 - Análisis de la tecnología y rentabilidad de los invernaderos de Almería.....	661
TI02 - Influencia de diferentes sistemas de calefacción, sobre el desarrollo, producción y calidad de un cultivo de tomate.....	671
TI03 - Análisis de la transmisividad de la cubierta de un invernadero mediterráneo con diferentes “ <i>Protectores Solares Agrícolas</i> ” (blanqueo).	682
TI04 - Las mallas de protección y su efecto sobre la dinámica poblacional de insectos en condiciones reales de campo en invernadero.	694
TI05 - Análisis del cultivo en un invernadero Almería con ventilación natural mediante termografía, actividad fotosintética, flujo de CO ₂ y anemometría sónica	701

TI06 - Influencia del control climático y la estructura del invernadero, sobre el índice de área foliar y la actividad fotosintética.	713
TI07 - Aplicación informática para el cálculo del volumen de aplicación de productos fitosanitarios en cultivos hortícolas en invernadero.	725
TI08 - Estimación del volumen de la masa vegetal en tomate en invernadero: Variaciones del Plant Row Volume (PRV).	735

SESIÓN VII: TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN ANIMAL Y ACUICULTURA 746

PA01 - Concentración de NH ₃ en relación con otras variables ambientales en alojamientos para lechones de 6 a 20 kg de p.v.	747
PA02 - Evolución del consumo diario de agua en lechones de 6 a 20 kg de peso vivo	758
PA03 - Utilização de minhocas (<i>Eisenia fetida</i> Savigny, 1826) na alimentação de achigãs (<i>Micropterus salmoides</i> , Lacépède, 1802) – resultados preliminares	767
PA04 - Avaliação do crescimento de achigãs produzidos em aquacultura – primeiros resultados.	776
PA05 - Separación in situ de heces y orina en porcino de cebo: efecto de la estacionalidad	783
PA06 - Caracterización de las fracciones sólida y líquida obtenidas mediante separación <i>in situ</i> de heces y orina en cebo de cerdos.	791
PA07 - Correlación entre pH y color de la carne durante la fase post-mortem en cerdos: diferenciando entre carnes PSE y DFD	800
PA08 - Factores ambientales de naves avícolas que influyen en el confort animal y su evaluación mediante CFD	809
PA09 - Evaluación de alternativas en la distribución de las ventanas para mejorar las condiciones de confort de los pollos de carne	821

SESIÓN VIII: SENSORES Y CONTROL DE PROCESOS 832

S01 - Compromiso entre coste y frecuencia de trabajo en sensores FDR de bajo coste para la gestión del riego.....	833
S02 - Resultados preliminares de una herramienta de bajo coste para análisis de la luz solar y gestión eficiente de recursos agrícolas.....	845
S03 - Modelado y control multivariable de temperatura y humedad en un invernadero	856
S04 - Metodología para el mapeado tridimensional de plantaciones de Olivar Tradicional con tecnología LiDAR	867
S05 - Caracterización Avanzada de Tanques de Fermentación de Café mediante una Red Multidistribuida de Sensores RFID.....	877
S06 - Evaluación de los sensores ultrasónicos para medidas a copa en olivar.	889
S07 - Caracterización por espectroscopia de la impedancia eléctrica de la aceituna variedad manzanilla de Sevilla	897
S08 - Implementación y calibración de un conductímetro para la medición de la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna.	908

SESIÓN IX: AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN 916

AP01 - Medición del porcentaje de madurez en ramas de café mediante dispositivos móviles y visión por computador	917
AP02 - Estimación del Índice de Color de los Cítricos utilizando dispositivos móviles .	926
AP03 - Sistema de visión artificial embarcado en un vehículo agrícola para la inspección en tiempo real de fruta mientras se recolecta	936

AP04 - Diseño de un Sistema SCADA Modulable y Escalable para el Control de Clima y Riego en Invernaderos	946
AP05 - Sensor óptico para determinar distancia entre plantas para aplicaciones de precisión	958
AP06 - Desarrollo de un prototipo universal para adaptación de equipos centrífugos de abono convencionales en equipos de aplicación variable.	967
AP07 - Acondicionamiento de señal GPS para aumentar la fiabilidad de un robot vitivinícola	976
 SESIÓN X: AUTOMATIZACIÓN Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES	988
AU01 - Sistema de alzamiento automático para arcos de seguridad adelantados en tractores agrícolas	989
AU02 - Entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas en imágenes de cultivos agrícolas	998
AU03 - Software de clasificación automática de plantas y suelo (CAPS)	1009
AU04 - Detección de podredumbres en cítricos mediante espectroscopía VIS/NIR y métodos de aprendizaje automático.....	1021
AU05 - Medición no destructiva del índice de madurez en mango 'Kent' usando tecnología de imagen hiperespectral.....	1031
AU06 - Análisis de algunas características externas de los alimentos mediante análisis de imágenes utilizando Food-ColorInspector	1039
 SESIÓN XI: TECNOLOGÍA DE POSTRECOLECCIÓN	1046
TP01 - Desarrollo de una herramienta para el análisis de las temperaturas de prerrefrigeración y conservación óptimas de productos hortofrutícolas	1047
TP02 - Medición no destructiva del índice de madurez en mango 'Osteen' usando técnicas de espectroscopía de infrarrojo cercano	1057
TP03 - Tratamientos de Salicilatos y Oxálico en cerezas 'SweetHeart' en Campo y sus efectos en la calidad, durante la recolección y conservación.....	1067
TP04 - Determinación de la firmeza de mango 'Osteen' mediante una garra robótica sensorizada	1074
TP05 - Registro y análisis de temperaturas: productos IV gama del campo a la mesa.....	1082
 SESIÓN XII: GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE	1092
GF01 - Estimación del volumen maderable de pinos silvestres mediante el uso de redes neuronales de base radial	1093
 SESIÓN XIII: INNOVACIÓN EDUCATIVA EN AGROINGENIERÍA.....	1102
IA01 - Los estudios de Master con orientación técnica en la UMH. Una aproximación al perfil de los estudiantes del Master MATRE	1103
IA02 - Valoración del sistema de Evaluación de la Actividad Docente del Profesorado de la Universitat Politècnica de València.....	1114
IA03 - Adecuación de asignaturas para ser impartidas en modalidades semi- presenciales y no presenciales.	1124
IA04 - ¿Dónde trabajan en el 2015 los egresados de las titulaciones de ingeniería de la rama agraria?.....	1131
IA05 - Estudio de titulaciones extranjeras relacionadas con la Ingeniería Agronómica para promover la movilidad estudiantil y nuevas dobles titulaciones.	1139

IA06 - Acciones innovadoras de coordinación y promoción del Grado en Ingeniería Agrícola.....	1149
IA07 - Análisis de la información relativa a programas de doctorado españoles en el área agroforestal mostrada en las webs.....	1158
IA08 - 10 años de Huertos Ecológicos como actividad formativa integral en agronomía.....	1170
IA09 - Utilización de la herramienta AVIP integrada en Moodle.....	1178
IA10 - Desarrollo de competencias. Caso práctico: estudiantes voluntarios en congreso científico.	1190
IA11 - Experiencia de evaluación de competencias transversales en el Máster de Ingeniero Agrónomo de la Universidad Politécnica de Valencia	1198
IA12 - Diseño de parques de maquinaria en explotaciones agrarias como herramienta de innovación educativa en mecanización agraria	1207
IA13 - Guía básica para la elaboración de vídeos docentes. Vídeos sobre Técnicas de ensayo no destructivas en madera.....	1216
ÍNDICE DE AUTORES.....	1227

SESIÓN I: ENERGÍA

E01- A expansão da cana-de-açúcar em direção ao cerrado no Estado de Goiás – Brasil

Chieppe Jr, J.B.¹

¹ Professor Pesquisador Doutor do Departamento de Áreas Acadêmicas IFGoiás-Campus Inhumas; Inhumas-GO; jrchieppe@gmail.com; (062) 3514 9500, Av. Universitária, Vale das Goiabeiras, cep. 74400-000, Inhumas-GO-Brasil

Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar resultados de uma revisão de trabalhos apresentados sobre o tema dos impactos do avanço do setor sucroalcooleiro em Goiás relacionados com a expansão da fronteira agrícola. Pode-se perceber que, através da expansão da fronteira agrícola no cerrado goiano, a vegetação natural deu lugar ao cultivo da soja e áreas de pastagens, e mais recentemente, da cana-de-açúcar, constatando que as usinas estão sendo consolidadas em todas as áreas do estado em função do aumento da demanda por produtos do setor sucroalcooleiro, as quais têm intensificado as discussões do processo de degradação e dos problemas e consequências ambientais e socioeconômicas nessas áreas. Esse aumento justifica-se a um grande potencial para expansão da atividade canavieira, uma vez que há disponibilidade e preço baixo das terras, baixo custo de produção, associado à alta rentabilidade, além do setor atrair consideráveis investimentos. Outros fatores, como, benefícios fiscais, recursos hídricos abundantes, clima e topografia favorável, estão estimulando a expansão sucroalcooleira no Estado de Goiás.

Palavras – chave: cana-de-açúcar, cerrado, meio ambiente

The expansion of sugar cane towards the “cerrado” in Goiás State - Brazil

Abstract

This paper aims to show results of a literature and documental review about the impacts of sucroalcooleiro sector growth in Goiás state, related to the expansion of the agricultural belt. It's been noticed that, the agricultural belt expansion in “Cerrado goiano”, the natural vegetation was first replaced by soybean cultivation and pasture areas, and more recently, sugar cane. It is also noticed that Ethanol industries are being consolidated in all state areas in response to the increasing rate of sucroalcooleiro sector products offering, which has intensified the discussions of the degradation process, as well as the problems and environmental and socioeconomic consequences in these areas. This growth is justified to a great potential for expanding sugar cane production, as there is availability and cheapness of land, low cost production, due to the high profitability and significant investment attraction in the sector. Other reasons, such as, tax benefits, abundant water resources; favorable climate and topography are stimulating the sucroalcooleira expansion in Goiás State.

Key - words: sugar cane, cerrado, environment

Introdução e objetivos

A região Centro-Oeste transformou-se em referência nacional como área de grande potencial agrícola, principalmente na produção de grãos. Porém, atualmente, há uma forte difusão do setor sucroalcooleiro em Goiás, estado que apresenta grande potencial para expansão da atividade canavieira, uma vez que há disponibilidade e preço baixo das terras, baixo custo de produção, associado à alta rentabilidade, além do setor atrair consideráveis investimentos. Tudo isso vem transformando Goiás em um dos maiores pólos energéticos do país (Carrijo & Miziara, 2009).

O Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, visto que, na safra 2009/2010 foram produzidos 589 milhões de toneladas e que a previsão para próxima safra é de 640 milhões de toneladas de cana, em cerca de 8 milhões de hectares (Carvalho, 2010). Desse total, Goiás tem 7,34% com 599,31 mil hectares, sendo o quarto no ranking nacional, atrás de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, conforme resultado do segundo levantamento da safra, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2010).

A ocupação das áreas de Cerrado ocorreu nas três últimas décadas alterando consideravelmente o perfil da região, na zona rural com a mecanização, pecuária extensiva e cultura de exportação e na zona urbana com o crescimento instantâneo das cidades (Pires, 2007). Sabe-se que a fronteira agrícola nas áreas de Cerrado está em expansão, pois o mesmo deu espaço a um “mar” de cana-de-açúcar, que até pouco tempo era ocupado, principalmente, pela monocultura da soja, modificando quase que totalmente a paisagem predominante (Pires, 2007). Pode se observar que Goiás, ao longo dos últimos anos, tem se especializado cada vez mais nas culturas da soja e da cana-de-açúcar (Pires, 2007).

O crescimento da cultura da cana na fronteira agrícola de Goiás, (e mais ainda da agricultura brasileira, como um todo) levanta questões sobre a disponibilidade e limitações de áreas adequadas; as áreas e locais utilizados nos últimos anos e as tendências para os próximos anos (Carrijo & Miziara, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de trabalhos apresentados pertinente ao tema, procurando encontrar e discutir os possíveis impactos e mudanças nas estruturas produtivas evidenciados pelo crescimento do setor sucroalcooleiro, enfatizando o deslocamento da fronteira agrícola no Estado de Goiás e suas consequências sobre o bioma cerrado.

Revisão de resultados de casos estudados

Expansão da fronteira agrícola no estado de goiás

Bioma Cerrado e os impactos ambientais e sociais da atividade sucroalcooleira

Segundo maior bioma do país, a região dos Cerrados, destacando-se pela riqueza de sua biodiversidade, que pode ser interpretada pela sua vasta extensão territorial, pela sua posição geográfica privilegiada, pela heterogeneidade vegetal, e por ser cortado pelas três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (MMA, 1998).

O Cerrado possui duas estações bem definidas: um verão chuvoso e um inverno seco e faz-se presente em 12 Estados, tendo ênfase na região Centro-Oeste, que nos últimos anos se transformou em verdadeiro celeiro de produção agrícola e pecuária (Pires, 2007).

Até meados 1960 o Cerrado foi praticamente ignorado. Como se sabe, houve um desmatamento acelerado, ocorrido basicamente na década de 1970, restando poucos hectares com áreas de preservação ambiental com o incremento da produtividade de cana-de-açúcar gerando a abertura de novas áreas em regiões ainda preservadas (Pires, 2007).

O desmatamento para a retirada de madeira e produção de carvão vegetal, foram, e ainda são atividades que antecederam e, de certa maneira, viabilizaram a ocupação agropecuária do Cerrado (Pires, 2007).

(Martins, 1997) Caracterizado como fronteira agrícola e celeiro do mundo, possui uma importância econômica muito grande pela sua capacidade de produzir alimentos (grãos, cana-de-açúcar, fibras, carne e leite, além de frutas e hortaliças), requerendo assim, uma utilização racional e sustentável para que continue a produzir e, ao mesmo tempo, seja preservado. Para atingir essa condição, o Cerrado foi alterado profundamente na sua forma e no seu conteúdo, e sua vegetação deu espaço às contínuas e imensas lavouras de soja, milho, algodão, tomate, sorgo, cana-de-açúcar ou vastas áreas cobertas por pastagens.

Segundo Pires (2007) A não preservação das áreas de Cerrado, é devido ao aumento de produção nas áreas que já são ocupadas com várias culturas, ocasionando o aumento a expansão das áreas de desflorestamento em suas pequenas manchas de vegetação nativa, para darem espaço a outras monoculturas, como, por exemplo, a cana-de-açúcar em Goiás, com a implantação de inúmeras usinas do setor sucroalcooleiro. As áreas já ocupadas por outras culturas têm sido substituídas, em pequena proporção, por cana-de-açúcar. A maior área de expansão ocorre no sudeste goiano, região tradicional de agropecuária, onde a cana passa a ocupar principalmente áreas de pastagens.

Para Vieira Jr *et al.* (2007), a limitação da expansão em São Paulo estimulou a migração da cana-de-açúcar para a região do Triângulo Mineiro em Minas Gerais e os Estados da região Centro-Oeste, a qual apresentou a maior taxa de crescimento no país, notadamente após o ano de 1990. A região apresenta terrenos com topografia propícia à mecanização e dispõe de, aproximadamente, 17 milhões de hectares cultivados com lavouras temporárias, sendo que apenas 3,3% Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2007), estão ocupados com cana-de-açúcar.

Para Carrijo & Miziara (2009). É importante salientar que a atuação do Estado foi decisiva para que houvesse a ocupação do Cerrado. Os planos governamentais, a infraestrutura, as modificações da base técnica agropecuária, os modelos desenvolvidos pela revolução verde, que, por meio da tecnologia, resolveram problemas da fertilidade do solo e contribuíram para expansão da fronteira agrícola nesta região.

Neste sentido, a região Centro-Oeste transformou-se em referência nacional como área de grande potencial agrícola, principalmente na produção de grãos. Porém, atualmente, há uma forte difusão do setor sucroalcooleiro em Goiás, estado que apresenta grande potencial para expansão da atividade canavieira. Tudo isso vem transformando Goiás em um dos maiores pólos energéticos do país.

De acordo com Pires (2007), os impactos desse crescimento, acarretarão vários problemas, que vão desde a incorporação de terras próprias ou arrendadas, reduzindo o número de pequenos agricultores, à homogeneização da paisagem com os extensos plantios da cana.

O setor sucroalcooleiro

No Brasil encontra condições climáticas favoráveis para se desenvolver em quase todo território, exceto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 1), devido ao risco de geadas (Casagrande, 1991; Camara & Oliveira, 1993).

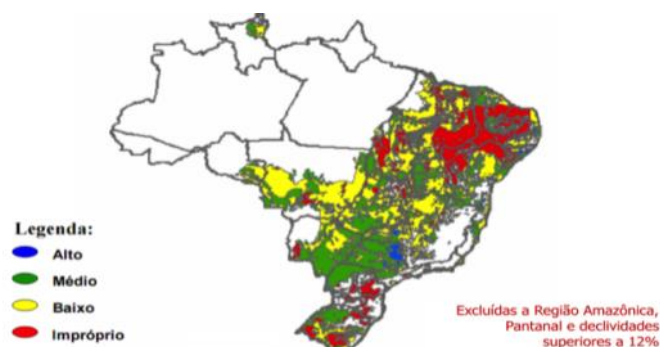


FIGURA 1- Solo e clima adequados a produção de cana-de-açúcar sem irrigação (Fonte: UNICA)

É importante salientar que o país exerce liderança tanto na produção canavieira quanto nos segmentos da cadeia sucroalcooleira como açúcar e álcool. Figura (2).

Além da energia química (etanol), a cana-de-açúcar diversifica a matriz energética com a produção de energia elétrica e calor a partir do bagaço e dos restos culturais, contribuindo assim, para a redução no uso de energia fóssil e a poluição ambiental (Andreoli & Souza, 2007).

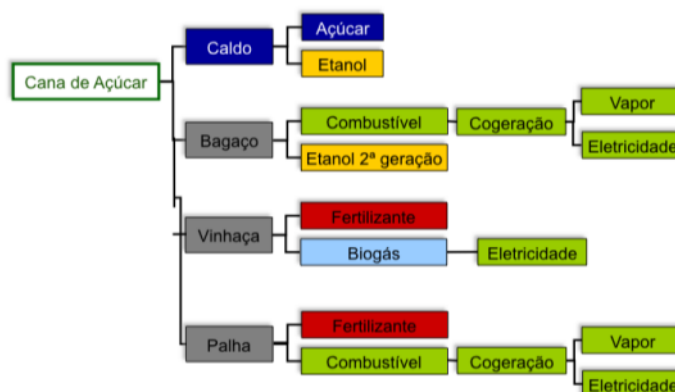


FIGURA 2- Indústria cana = energia e alimentos (Fonte: UNICA)

Ressalte-se que o Brasil conta, atualmente, com mais de 450 unidades produtoras de cana-de-açúcar cadastradas (Figura 3), sendo que, desse total, 280 são unidades mistas, 30 produtoras de açúcar e 140 produtoras de álcool. (MAPA, 2007). De acordo com levantamento da CONAB, no ano de 2010, entraram em operação mais 10 usinas.

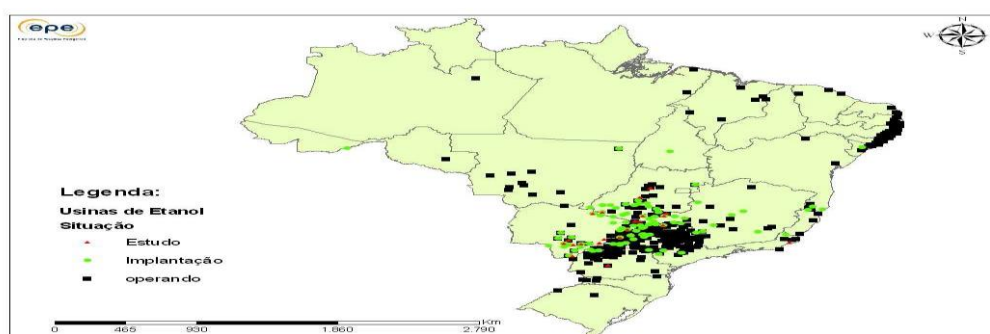


FIGURA 3-Distribuição das usinas de etanol no Brasil (Fonte: UNICA)

Nos próximos cinco anos, há uma perspectiva de aumento em 100% da produção (milhões toneladas) e 50% na área plantada (milhões de hectares) em cana-de-açúcar devido ao aumento no consumo de alimentos e energia, levando a previsão de novos

investimentos em usinas até 2015, com participação de capital estrangeiro (Figuras 4 e 5), (CONAB, 2010).

		2006/07	2010/11	2015/16	2020/21	Variação 2006-2020
Cana	Produção (milhões t)	430	601	829	1.038	141%
	Área plantada (milhões ha)	6,3	8,5	11,4	12,1	92%
Açúcar	Produção (milhões t)	30,2	34,6	41,3	45,0	49%
	Consumo doméstico	9,9	10,5	11,4	12,1	22%
	Exportação	20,3	24,1	29,9	32,9	62%
Alcool	Produção (bilhões litros)	17,9	29,7	46,9	65,3	265%
	Consumo doméstico	14,2	23,2	34,6	49,6	249%
	Exportação	3,7	6,5	12,3	15,7	324%
Bioeletridade	Produção (MW médio)	1.400	3.300	11.500	14.400	929%
	Part.% na Matriz Elétrica	3%	6%	15%	15%	---

FIGURA 4-Projeções de produção para o setor sucroalcooleiro no Brasil (Fonte: UNICA)

Investimentos Novas Unidades - 2008 a 2012	
Novas Unidades Produtivas - Indústria	US\$ 23 bilhões
Novas Unidades Produtivas - Agrícola	US\$ 10 bilhões
TOTAL	US\$ 33 bilhões

Participação do Capital Estrangeiro	
Safra - 2007/2008	Safra - 2012/2013
22 Unidades Produtivas	31 Unidades Produtivas
7% do Total	12% do Total

FIGURA 5- Previsão novos investimentos em usinas e participação do capital estrangeiro (Fonte: UNICA
Nota: dados estimados)

A expansão e ocupação do setor sucroalcooleiro em goiás

De acordo com o levantamento da (CONAB, 2010) no país em 2010, a previsão da safra de cana-de-açúcar moída pela indústria sucroalcooleira, foi de 651,51 milhões de toneladas. Segundo a própria CONAB, no mês de agosto a colheita da cana-de-açúcar, ainda em fase intermediária, atingiu 60% da maior parte dos canaviais.

Do total de cana a ser esmagada, 54,9% (357,5 milhões toneladas) foram destinadas à produção de 28,4 bilhões de litros de etanol. Os 45,1% (294 mil toneladas) restantes foram para a produção de 38,1 toneladas de açúcar, (CONAB,2010).

Desde 2005/2006, os estudos da CONAB indicam que a expansão e o crescimento da produção vêm acontecendo em praticamente todos os Estados do Centro-Sul. Apesar do estado de São Paulo, individualmente, apresentar as maiores áreas acrescidas às lavouras já existentes (38% do total de áreas novas agregadas na safra 2011/2012, o que correspondeu a 265.444 hectares), esta expansão vem se concentrando em áreas do Cerrado, prioritariamente no estado de Goiás que aumentou em 47,3% a sua produção, seguido de Mato Grosso do Sul, 28,7%, Paraná, 20,2%, e Minas Gerais 14,9% (CONAB, 2013).

Ainda segundo esses levantamentos, na safra 2010/2011, o acréscimo de novas áreas foi significativo no Cerrado, pois “em Minas Gerais o aumento foi de 117.540 hectares”, sendo que a região Centro-Oeste apresentou expansão significativa na área cultivada

“puxada por Goiás pelo plantio de 110.763,8 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 73.498,8 ha e Mato Grosso, 15.704,0 ha” (CONAB, 2012).

A expansão do setor sucroenergético e a consequente construção de novas usinas (produtoras de açúcar e álcool) levantam questões como, por exemplo, se está ocorrendo um trânsito das lavouras com cultivos alimentares para lavouras de cana. Segundo Sauer e Leite (2012), a expansão das lavouras de cana, “[...] confronta-se com a grande produção de grãos e com a agroindústria do setor de carnes (aves e suínos) previamente estabelecidas” em vários municípios goianos, resultando em “[...] uma forte e acirrada disputa territorial” (Sauer, 2011), mas também em aumento significativo dos preços das terras nessas regiões (Wilkinson e Herrera, 2010; Sauer e Leite, 2012).

A evolução da área plantada nos principais municípios fornecedores de cana-de-açúcar vêm registrando o crescimento da área plantada nas últimas safras (CONAB, 2010; 2012) no estado de Goiás. Este já é o segundo produtor nacional de etanol, e vem pressionando os estados do Paraná e Minas Gerais em extensão de área plantada de cana (Silva, Pietrafesa E Santos, 2011).

Os dados do INPE apontam uma expansão expressiva do cultivo de cana em Goiás, pois o Estado tinha 216.025 hectares em 2005/2006, passando para 731.981 hectares cultivados na safra 2011/2012, com mais de 84 mil hectares de áreas novas, acrescidas à área da safra anterior (INPE, 2012). Esta expansão de aproximadamente de 238% na área cultivada em cinco anos elevou o Estado ao terceiro posto de maior produtor (cultivo) de cana-de-açúcar do Brasil. O mesmo INPE (2012) projetou nova expansão de áreas plantadas em Goiás para 847.359 hectares para a safra 2012/2013. Um acréscimo de aproximadamente 120 mil hectares em apenas um ano.

Nessa perspectiva de expansão, em 2009 a Secretaria Estadual de Agricultura divulgou que existiam mais de oitenta projetos de usinas aprovados, apontando perspectivas de crescimento da produção de açúcar e álcool em Goiás. Em relação ao setor industrial canavieiro, havia 77 novas unidades em construção, em 2005, em todo o Brasil (MACEDO, 2005,). No início de 2007, este número já estava com noventa usinas em construção e mais de 150 projetos de novas unidades (dados de julho de 2007), sendo que, somente no estado de Goiás, existiam sessenta projetos de construção de novas unidades industriais. Na verdade, ocorreu a construção de novas usinas no Estado, mas a expansão do parque industrial do setor canavieiro diminuiu o ritmo após 2008 (IBGE, 2009).

A (Figura 6) identifica a distribuição geográfica de trinta (30) unidades produtivas de etanol e açúcar no estado de Goiás. É possível observar que existe uma concentração das unidades produtoras na mesorregião Sul do estado de Goiás, pois se encontra aí melhor infra-estrutura instalada, desde meios de escoamento (estradas), como proximidade com centros consumidores de grande envergadura (Sudeste e Sul do Brasil).

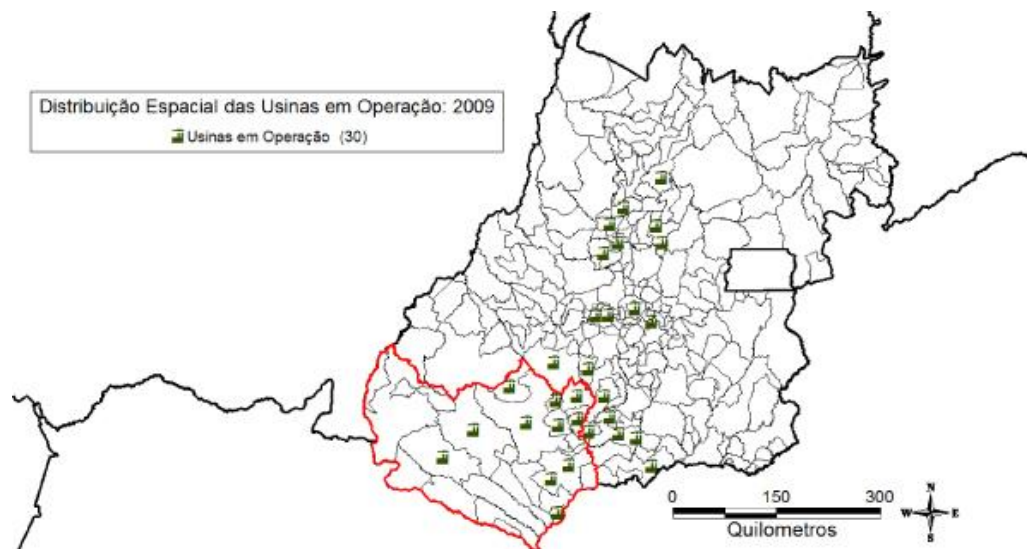


Figura 6 – Mapa de distribuição das usinas no estado de Goiás em 2009

Carrijo & Miziara, (2009) O Estado de Goiás tem criado mecanismos, como, por exemplo, o Programa de Desenvolvimento Industrial de Goiás (PRODUZIR), que estimulam a instalação de agroindústrias na região. Deste modo, verifica-se que os fatores naturais, aliados aos incentivos fiscais contribuem para incentivar a instalação de novas indústrias no Estado, tornando-o um pólo sucroalcooleiro competitivo.

Principais vantagens competitivas:

- Preços das terras e dos arrendamentos no Centro-Oeste mais baixos em relação às regiões do Centro-sul;
- Fatores geográficos:
 - - Topografia plana, facilitadora da mecanização do plantio e da colheita, e que, conseqüentemente, resulta na diminuição dos custos e evita a queima da cana, atendendo às exigências ambientais;
- Condições edafo-climáticas
 - solo e clima favoráveis com condições perfeitas para produção em larga escala; Disponibilidade de recursos hídricos; Razoável infra-estrutura urbana; devido a falta de um álcool duto para escoamento ; Localização adequada para atividade industrial; Grandes extensões de terras agricultáveis.

Considerações finais

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar uma pesquisa de trabalhos apresentados pertinente ao tema, procurando encontrar e discutir os possíveis impactos e mudanças nas estruturas produtivas evidenciados pelo crescimento do setor sucroalcooleiro, enfatizando o deslocamento da fronteira agrícola no Estado de Goiás e suas conseqüências sobre o bioma cerrado .

Pode-se perceber que com o desenvolvimento de novas tecnologias no setor agropecuário nos últimos 40 anos, tornou os solos de cerrado, até então solos de baixa fertilidade em terras altamente produtivas. A adoção de novas técnicas e tecnologias no processo produtivo, mostrou que a vegetação natural do cerrado goiano deu lugar ao cultivo de diversas culturas temporárias, mas principalmente da monocultura da soja, e

da pecuária , causando uma grande preocupação na questão ambiental, no que se refere a preservação do bioma . A modernização tecnológica foi um fator primordial para o desenvolvimento da área de fronteira agrícola.

Atualmente, verifica uma mudança no sistema produtivo em Goiás, com um aumento nas lavouras de cana-de-açúcar em substituição a soja e pecuária, em função do aumento da demanda por produtos do setor sucroalcooleiro. Outro fator que se observa é a limitação da expansão em São Paulo estimulou a migração da cana-de-açúcar para a região do Triângulo Mineiro em Minas Gerais e os Estados da região Centro-Oeste.

Esse aumento do setor sucroalcooleiro em Goiás, deve-se a um grande potencial para expansão da atividade canavieira, uma vez que, outros fatores, como benefícios fiscais, recursos hídricos abundantes, clima e topografia favorável, estão estimulando a expansão sucroalcooleira no Estado . Tudo isso vem transformando Goiás em um dos maiores pólos energéticos do país.

Porém se observa que toda essa expansão do setor sucroalcooleiro, em Goiás, vem causando um processo de degradação no bioma pela erosão de solos, poluição e assoreamento dos rios e lagos, provocado pelos desmatamentos de seu entorno, além do uso desmedido da água na agricultura.

Referências bibliográficas

- Andreoli, C.; souza, S.P. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. *Economia & Energia*. v.X, n.59, Dez. 2006/Jan. 2007. Disponível em <http://ecen.com/eee59/eee59p/cana_melhor_conversorl.htm>. Acesso em: 27 de fev. De 2007.
- Camara, G.M.S.; oliveira E.A.M. Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP/Departamento de Agricultura/FEALQ, 1993. 242p.
- Carrijo E.L.O. ; miziara F. A expansão do setor sucroalcooleiro como uma nova etapa da fronteira agrícola em Goiás: Estudo do caso no município de Mineiros. *Revista de Economia da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO*, v.5, n. 2, p.93-121, 2009.
- Carvalho, L. C. C. Tendências setoriais do agronegócio brasileiro. *Canaplan*, no 02, 2010, p. 02-10.
- Casagrande, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <http://www.conab.com.br>. Acesso em 01 de setembro de 2010.
- _____. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar*. Terceiro levantamento: safra 2011/2012, Brasília, CONAB, dezembro de 2011 (disponível em www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf) – acesso em 12 de fevereiro de 2012.
- _____. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos*. Brasília, CONAB, março de 2012 (disponível em www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_03_13_11_04_08_boletim_marco_2012.pdf) – acesso em 20 de julho de 2013.
- _____. *Levantamento para acompanhamento da safra – Séries históricas*. Brasília, CONAB, 2012 (disponível em www.conab.gov.br) – acesso em 29 de novembro de 2012.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 15 de janeiro de 2007.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. *Quinta estimativa da safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas para 2009*. Rio de Janeiro, IBGE,

- 2009 (disponível em www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200905commentarios.pdf) Acesso em 10 de junho de 2009.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Projeto Canasat*. 2012. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/tabelas.html> - acesso em fevereiro de 2012.
- Macedo, Isaías de Carvalho (org.). *A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade*. São Paulo: Berlendis e Vertecchia: UNICA – União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2005.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 6 de abril de 2007.
- Martins, J. S. A chegada do estranho. s.l., s/e 1997.
- MMA/BRASIL. Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica – Brasil. Brasília, 1998.
- Pires, L. M. Reflexão sobre o impacto causado pela expansão da cana-de-açúcar nas áreas de cerrado: Um olhar sobre Goiás. 2007. 13 f. Trabalho do programa de pesquisa e pós-graduação do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da UFG (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Sauer, Sérgio. Demanda mundial por terras: “land grabbing” ou oportunidade de negócios no Brasil? *Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas*. Brasília, CEPPAC/UnB, 2011 (disponível em www.repacm.org) – acesso em fevereiro de 2012.
- Sauer, Sérgio e leite, Sérgio P. Agrarian structure, foreign investments on land, and land price in Brazil. *Journal of Peasant Studies*, vol. 39, nº 3-4, julho-outubro, 2012, pp. 873-898.
- Silva, Sandro D.; pietrafesa, José P.; santos, Ana E. A. F. O Cerrado e a produção sucroalcooleira: expansão e transferência histórico-geográfica da produção de etanol em Goiás. In: pietrafesa, José P. e SILVA, Sandro D. (orgs.). *Transformação do Cerrado: progresso, consumo e natureza*. Goiânia, Editora da PUC Goiás, 2011, pp. 21-46.
- Vieira JR. *et al.* A produção brasileira de cana-de-açúcar e o deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. Campinas: Instituto de Economia/UNICAMP, 2007. Palestra ministrada no evento Desenvolvimento Territorial e Ruralidade.
- Wilkinson, John e Herrera, Selena. Biofuels in Brazil: debates and impacts. *Journal of Peasant Studies*, vol. 37, nº 4, outubro, 2010, pp. 749-768.

E02 - Potencial de generación de electricidad con codigestión de residuos agroganaderos en la región de Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil

Ferrarez, A. H.¹, Oliveira Filho, D.², Navas Gracia, L.M.³, Miñon Martinez, J.⁴, Precci Lopes, R.⁵, Galvão da Silva Júnior, A.⁶, Souza Silva, N..⁷

¹ Instituto Federal Fluminense, BR 356 km 03, Itaperuna – Rio de Janeiro, CEP- 28300-000, Brasil, aferrarez@iff.edu.br. ^{2,5,6,7} Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP: 36570-000, Viçosa – Minas Gerais, Brasil, delly@ufv.br, roberto.precci@ufv.br; aziz@ufv.br; natysouza.eaa@gmail.com ^{3,4} Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA), Avda. de Madrid 57, 34004 Palencia, España, lmnavas@iaf.uva.es, jorge.minon.martinez@gmail.com

Resumen

Desde octubre de 2012, el sistema eléctrico brasileño se enfrenta a problemas con el bajo nivel de los embalses hidroeléctricos. Este escenario puede llevar al racionamiento de energía con reflejos en la calidad de vida de la población y en el crecimiento económico. La Zona da Mata, que consiste en 142 municipios, es una de las mesorregiones de Minas Gerais, donde hay un número significativo de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). Estas instalaciones no necesariamente traen beneficios a la población local, es decir, los municipios reciben la carga directa de implantación, sin recibir el bono u compensación por daños ambientales. La región es el segundo mayor centro de producción porcina de Minas Gerais y el quinto mayor productor y exportador de carne de cerdo de Brasil. La producción de residuos derivados de la actividad porcina es un grave problema ambiental. El aprovechamiento energético de los desechos porcinos por codigestión anaerobia con residuos vegetales (café, frijoles, maíz y caña de azúcar) se presenta como una posibilidad de promover el saneamiento ambiental y aumentar la oferta energética. Los objetivos de este trabajo fueran: (i) estimar los residuos agroganaderos disponibles en la región; (ii) estimar el potencial de producción de biometano a través de la codigestión anaerobia; (iii) estimar y comparar el potencial de generación de electricidad a partir de biometano producido con los desechos porcinos y por medio de la codigestión con residuos vegetales; e (iv) evaluar los impactos de la electricidad generada en la matriz energética de la región. Fue utilizado software de sistemas de informaciones geográficas para la elaboración de mapas de la región presentando a potencia eléctrica generada con los residuos. El potencial de producción de biometano fue estimado en 193.217.223 m³/año, la potencia eléctrica en 79,31 MW y la electricidad generada puede satisfacer a 28,15% de la demanda regional.

Palabras clave: biometano, porcicultura, desarrollo regional sostenible.

Potential of electricity generation with codigestion of agricultural waste in the region of Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil

Abstract

Since October 2012, the brazilian electricity system faces problems with the low level of hydroelectric reservoirs. This scenario can lead to rationing of energy with reflections in the population quality of life and economic growth. The Zona da Mata, consisting of 142 municipalities, is one of the meso regions of Minas Gerais, where are installed a significant number of small hydropower (SHP). These facilities not necessarily bring benefits to the local population, in other words, the municipalities receive the direct burden of deployment, without receiving the bonus or compensation for environmental damage. The region is the second largest pig production center in Minas Gerais and the fifth largest producer and exporter of pork from Brazil. The generation of waste from pig farming is a serious environmental problem. The energy recovery of waste from pigs by anaerobic codigestion with residue (coffee, beans, corn and sugar cane) is an opportunity to promote environmental sanitation and increase the supply of energy.

The objectives of this work were: (i) estimate agricultural and livestock wastes available in the region; (ii) estimate the biomethane production potential through anaerobic codigestion; (iii) estimate and compare the potential of generating electricity from biomethane produced from pig manure and through codigestion with vegetable waste; and (iv) assess the impacts of the electricity generated in the regional energy matrix. Was used geographic information systems software for preparing maps of the region showing the electrical power generated with wastes. Biomethane production potential was estimated at 193,217,223 m³/year, 79.31 MW of electricity and electricity generated can meet 28.15% of regional demand.

Keywords: biomethane, swine, sustainable regional development.

Introducción

Desde octubre de 2012, el sistema eléctrico brasileño se enfrenta a problemas con el bajo nivel de los embalses hidroeléctricos. Como resultado, el país aumentó la capacidad instalada de las centrales térmicas alcanzando 37,8 GW en 2014, de los cuales más del 70% se genera a partir de combustibles fósiles (ANEEL, 2015). Según los expertos, si este escenario continúa, puede haber racionamiento de energía. Estudios demuestran que existe una relación directa entre el aumento del consumo de energía y el desarrollo económico (Warr y Ayres, 2010). El aumento en el consumo de energía también se ha relacionado con un mayor bienestar de la gente, teniendo reflejos sobre el Índice de Desarrollo Humano (IDH) (Ouedraogo, 2013).

La mesorregión de Zona da Mata del estado de Minas Gerais es formada por 142 municipios agrupados en siete microrregiones. La Figura 1 muestra la ubicación de la región.



Figura 1. Mesorregión de Zona da Mata de Minas Gerais (Fuente: (Lost Dutchman Coffee Company, 2015) y (Minas Gerais, 2014))

Hay un total de 24 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) instaladas en la región totalizando 242,74 MW de potencia (ANEEL, 2014). Estas instalaciones no necesariamente traen beneficios a la población local, es decir, los municipios reciben la carga directa de implantación, sin recibir el bono u compensación por daños ambientales (Paula *et al.*, 2013). El consumo per cápita de energía es inferior al de los países de la OCDE, del Brasil y del estado de Minas Gerais (IEA, 2013; EPE, 2012 e CEMIG, 2012).

La agricultura en la región es tradicional atendiendo sobre todo al mercado local y regional, con la excepción de los sectores del café, producción de cerdo y de pollo (Netto y Diniz, 2005). Los principales cultivos agrícolas, además de café, son los frijoles, el maíz y la caña de azúcar.

La Zona da Mata es el segundo centro de cría de cerdos de Minas Gerais y el quinto mayor productor y exportador de carne de cerdo de Brasil. Predomina el productor que tiene hasta 500 matrices, con ventas anuales inferiores a US \$ 1 millón, que emplean mano de obra contratada y cuya gestión de la propiedad es hecha por miembros de la familia (Moura, 2004).

La producción de residuos derivados de la actividad porcina consiste en un grave problema ambiental. El manejo inadecuado de residuos causa la contaminación de los ríos y del agua subterránea con amoníaco, nitratos y otros elementos tóxicos, además de la difusión de los agentes patógenos. Otro tipo de contaminación de la porcicultura está asociada a los compuestos volátiles tales como amoníaco, metano, ácidos grasos volátiles, H_2S , N_2O , etanol, propanol y dimetil sulfuro (Cools *et al.*, 2001; Coimbra-Araújo, *et al.*, 2014).

El aprovechamiento energético de los residuos porcinos es una alternativa para la mitigación de los impactos ambientales. Uno de los posibles procesos de conversión de estos residuos en energía es la codigestión anaerobia con residuos vegetales (Hills y Roberts, 1981; Hashimoto, 1983). Ese proceso consiste en la acción de microorganismos que transforman la biomasa en biogás, que tiene de 50 a 80% de metano (CH_4), siendo el resto compuesto principalmente de dióxido de carbono (CO_2). Otros gases como el ácido sulfhídrico (H_2S), nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO), también componen el biogás, pero en concentraciones más bajas (Weiland, 2010). Dependiendo de su pureza (concentración de metano), el biogas es denominado biometano. No hay una norma internacional, sin embargo el biogás en Holanda con 85% de metano es considerado biometano, mientras que este porcentaje aumenta a 96 y 97% para Suiza y Suecia, respectivamente (Suwansri, *et al.*, 2014).

Los objetivos de este estudio fueron: (i) estimar los residuos agroganaderos disponibles en la región de Zona da Mata de Minas Gerais; (ii) estimar el potencial de producción de biometano a través de la codigestión anaerobia de los residuos; (iii) estimar y comparar el potencial de generación de electricidad a partir de biometano producido con los desechos porcinos y por medio de la codigestión con residuos vegetales; e (iv) evaluar los impactos de la electricidad generada con los residuos en la matriz energética de la región.

Material y Métodos

Los datos utilizados en este trabajo fueron recogidos de la literatura científica / informes técnicos y de los organismos oficiales de las estadísticas brasileños. Los datos de la producción agroganadera son relativos al año de 2012 y fueron obtenidos del Censo Agrícola Municipal (IBGE, 2012a) y Censo Ganadero Municipal (IBGE, 2012b) realizados por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) que proporciona información a nivel de municipios con respecto a: (i) número de animales del rebaño porcino; (ii) área sembrada por cultivo en hectáreas; y (iii) producción anual por cultivo en toneladas.

A efectos de cálculo se utilizó las siguientes ecuaciones:

Producción de desechos porcinos:

$$Dej_{porc} = 365 \times N_{porc} \times dej \times \rho_{dej} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Donde:

Dej_{porc} – Producción de desechos porcinos (t.año⁻¹)

N_{porc} – Rebaño efectivo anual (año⁻¹)

dej – Producción de desechos al día (m³.día⁻¹)

ρ_{dej} – Densidad desechos porcinos (kg.m⁻³).

Fueron considerados los resultados obtenidos por (Souza, *et al.*, 2009) e (Metcalf y Eddie, 1991).

Producción de residuos vegetales

La cantidad de residuos de café y caña-de-azúcar disponible se calculó teniendo en cuenta la producción anual de estos cultivos.

$$Res_{cultivo} = Prod_{cultivo} \times Fres_{(cultivo)} \quad (2)$$

Donde:

$Res_{cultivo}$ – Producción de residuos del cultivo (t.año⁻¹)

$Prod_{cultivo}$ – Producción del cultivo (t.año⁻¹)

$FRes_{(cultivo)}$ – Fracción de residuo disponible para la codigestión (adimensional)

Fueron considerados los resultados obtenidos por: (Murthy y Naidu, 2013); (Santos, *et al.*, 2012); (Souza, 2001) y (De Paoli, *et al.*, 2011).

La cantidad de residuos de frijoles y maíz disponible se calculó teniendo en cuenta la superficie sembrada anual de estos cultivos.

$$Res_{cultivo} = \%_{remoción\ de\ residuos\ del\ suelo} \times S_{cultivo} \times R_{ha} \quad (3)$$

Donde:

$Res_{cultivo}$ – Producción de residuos del cultivo (t.año⁻¹)

$\%_{remoción\ de\ residuos\ del\ suelo}$ – Porcentaje de remoción de residuos del suelo (adimensional);

$S_{cultivo}$ – Superficie sembrada del cultivo (ha.año⁻¹)

R_{ha} – Residuo por superficie cosechada (t.ha⁻¹)

Fueron considerados los resultados obtenidos por: (Andrews, 2006) y (Souza, *et al.*, 2002).

Producción de biometano por desechos porcinos:

$$P_{bioCH4porc} = Dej_{porc} \times ST \times SV \times bioCH4_{porc} \quad (4)$$

Donde:

$P_{bioCH4porc}$ – Producción de biometano a partir de desechos porcinos (m³.año⁻¹)

Dej_{porc} – Producción de desechos porcinos (kg.año⁻¹)

ST – Sólidos Totales por masa de desechos (kg de ST.kg⁻¹)

SV – Sólidos Volátiles por masa de ST (kg de SV.kg de ST⁻¹)

$bioCH4_{porc}$ – volumen de biometano por masa de sólidos volátiles (m³ de bioCH₄.kg de SV⁻¹)

Fueron considerados los resultados obtenidos por: (Souza, *et al.*, 2009) y (Orrico Junior, *et al.*, 2011).

Producción de biometano a partir de residuos vegetales:

$$P_{\text{bioCH}_4\text{cultivo}} = \text{Res}_{\text{cultivo}} \times \text{ST} \times \text{SV} \times \text{bioCH}_{4\text{cult}} \quad (5)$$

Donde:

$P_{\text{bioCH}_4\text{cultivo}}$ – Producción de biometano con residuos del cultivo ($\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$)

$\text{Res}_{\text{cultivo}}$ – Producción de residuos del cultivo ($\text{kg} \cdot \text{año}^{-1}$)

ST – Sólidos Totales por masa de residuos ($\text{kg de ST} \cdot \text{kg}^{-1}$)

SV – Sólidos Volátiles por masa de ST ($\text{kg de SV} \cdot \text{kg de ST}^{-1}$)

$\text{bioCH}_{4\text{cult}}$ – Volumen de biometano por masa de sólidos volátiles ($\text{m}^3 \text{ de } \text{CH}_4 \cdot \text{kg de SV}^{-1}$)

Fueron considerados los resultados obtenidos por: (Fischer *et al.*, 2010); (Petersson, *et al.*, 2007); (KTBL, 2014); (De Paoli, *et al.*, 2011).

A efectos de cálculo, en este estudio, fue considerada la concentración de CH_4 en el biometano igual a 100%.

Potencia Eléctrica generada con biometano

$$Pot_{\text{eléctrica}} = \text{PCI} \times v \times \eta_{\text{motor-generador}} \quad (6)$$

Donde:

$Pot_{\text{eléctrica}}$ – Potencia eléctrica, kW;

PCI – Poder Calorífico Inferior, $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$;

v – Flujo de biometano, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

$\eta_{\text{motor-generador}}$ – rendimiento conjunto motor-generador, adimensional.

Los rendimientos del conjunto motor-generador se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Rendimiento del conjunto motor-generador

Producción de bioCH_4 ($\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$)	Rendimiento (ρ)
< 165.000	0,266
165.000 < Prod < 412.000	0,299
412.000 < Prod < 824.000	0,338
824.000 < Prod < 1.645.000	0,355
> 1.645.000	0,371

Fonte: Adaptado de (Pantaleo, *et al.*, 2013)

Electricidad producida

$$E_{\text{producida}} = Pot_{\text{eléctrica}} \times \Delta t \times 10^{-3} \quad (7)$$

Donde:

$E_{\text{producida}}$ – Electricidad producida con biometano, $\text{MWh} \cdot \text{año}^{-1}$;

$Pot_{\text{eléctrica}}$ – Potencia eléctrica de la planta; kW;

Δt – Tiempo de operación de la planta, $\text{h} \cdot \text{año}^{-1}$;

Los tiempos de operación, conforme la potencia de la planta, son presentados em la Tabla 2.

Tabla 2. Tiempo de operación de la planta

Potencia eléctrica de la Planta (kW)	Tiempo de Operación ($\text{h} \cdot \text{año}^{-1}$)
< 250 kW	7.500
250 kW < P < 1000	7.800
> 1000 kW	8.000

Fuente: (Pantaleo, et al., 2013).

Fue utilizado el software de sistemas de informaciones geográficas Arc GIS 10.2 de ESRI para la elaboración de mapas de la región con la potencia eléctrica generada a partir de los residuos agroganaderos.

Resultados y Discusión

La Tabla 3 muestra la cantidad anual de residuos agroganaderos disponible en Zona da Mata de Minas Gerais.

Tabla 3. Resíduos agroganaderos disponibles en Zona da Mata de Minas Gerais

	Porcino (t/ano)	Café (t/ano)	Frijoles (t/ano)	Maíz (t/ano)	Bagazo de caña (t/ano)	Paja de caña (t/ano)
Total	2.853.194,26	116.933,85	40.753,52	26.234,78	113.460,10	165.462,64

La carga contaminante de desechos porcinos en la región es igual a la producida por una ciudad de aproximadamente 3,5 millones de habitantes (Fleming y Ford, 2001). La Tabla 4 muestra el potencial de producción de biometano.

Tabla 4. Potencial de producción de biometano

Residuo	Producción de Biometano (m ³ /año)
Porcino	63.830.797
Café	5.306.926
Frijoles	15.193.758
Maíz	3.216.462
Bagazo de Caña	45.727.390
Paja de Caña	59.941.899
Total	193.217.233

La figura 2 muestra la producción de biometano por sustrato en las siete microrregiones de la Zona da Mata de Minas Gerais.

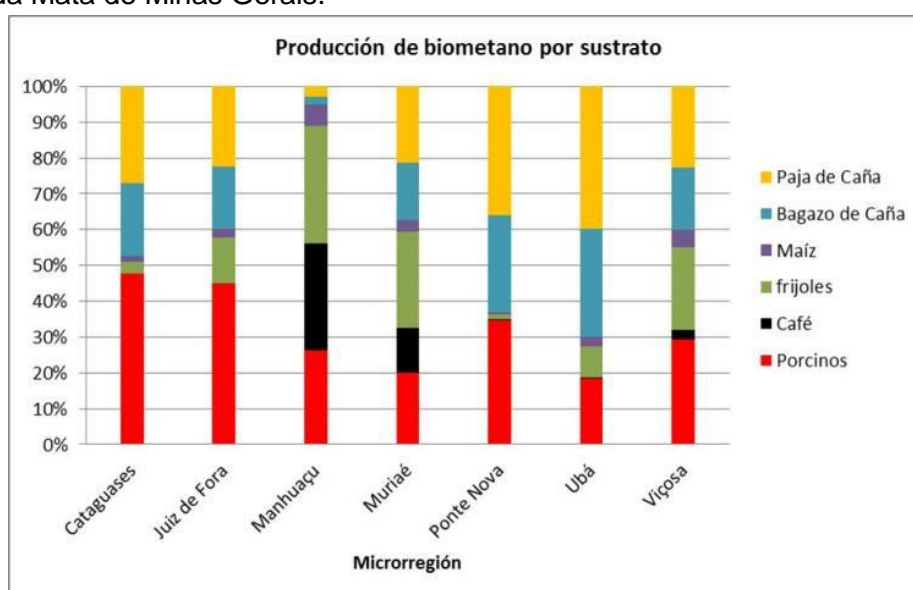


Figura 2. Producción de biometano por sustrato

Los residuos vegetales disponibles representan 66,96% de la producción de biometano en la región (paja y el bagazo de la caña de azúcar totalizan 54,69%).

La Figura 3 muestra la estimativa de la potencia eléctrica generada con los residuos de la porcicultura en los municipios de la región de Zona da Mata de Minas Gerais.

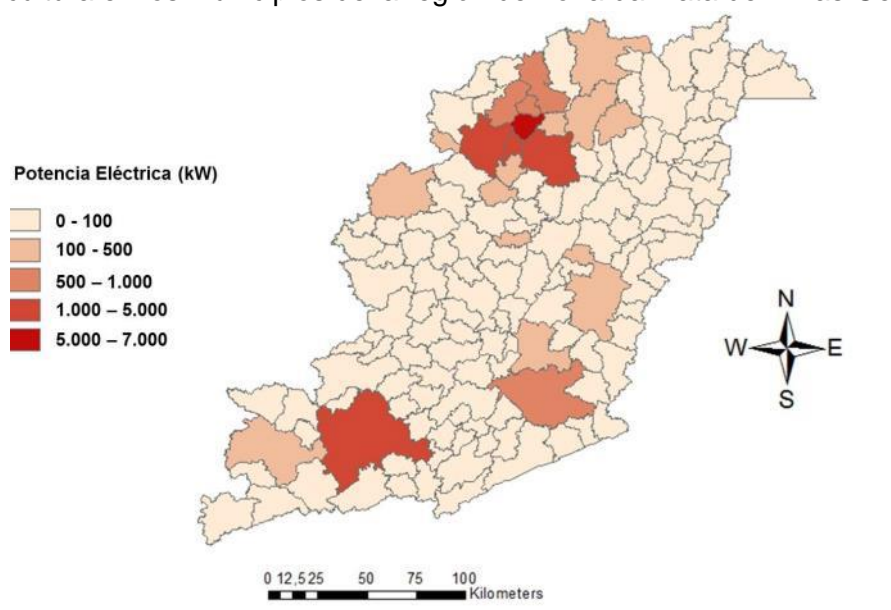


Figura 3. Estimativa de potencia eléctrica generada con residuos de la porcicultura

La Figura 4 muestra la estimativa de potencia eléctrica generada con la codigestión de residuos agroganaderos (porcinos + cultivos vegetales) en municipios de la región de Zona da Mata de Minas Gerais.

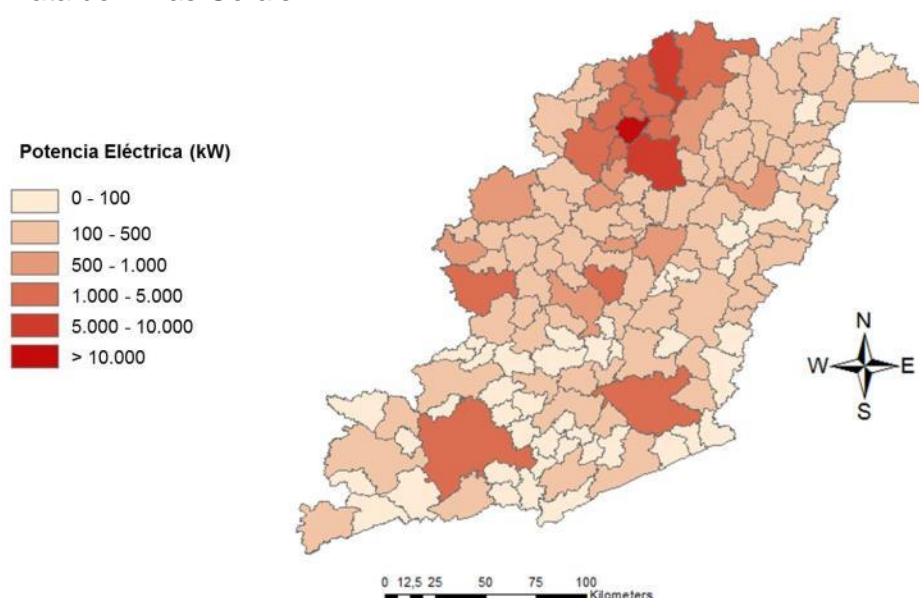


Figura 4. Estimativa de potencia eléctrica generada con la codigestión de residuos agroganaderos

Con la codigestión anaerobia el número de municipios capaces de generar más que 100 kW salta de 21 a 95. Esto puede ayudar en la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento energético de los residuos agroganaderos en la región. La Tabla 5 muestra la estimativa de potencia eléctrica y electricidad generada a partir de residuos agroganaderos y el impacto en la matriz energética regional.

Tabla 5. Estimativa generación de potencia eléctrica y electricidad

Residuos	Potencia eléctrica (kW)	Electricidad generada (MWh/año)	% de la capacidad hidroeléctrica	% del consumo regional de electricidad
Porcinos	25.630	201.577	10,56	8,44
Porcinos + resíduos vegetales (codigestión)	79.309	616.455	32,67	28,15

La potencia eléctrica generada con codigestión es 3,1 veces mayor que la generada solamente con desechos porcinos. El potencial de generación de electricidad a partir de residuos agroganaderos llega a casi un tercio de la capacidad hidroeléctrica instalada y más de una cuarta parte del consumo de electricidad en la región.

La Figura 5 muestra la variación de la electricidad per cápita con el aprovechamiento de residuos agroganaderos.

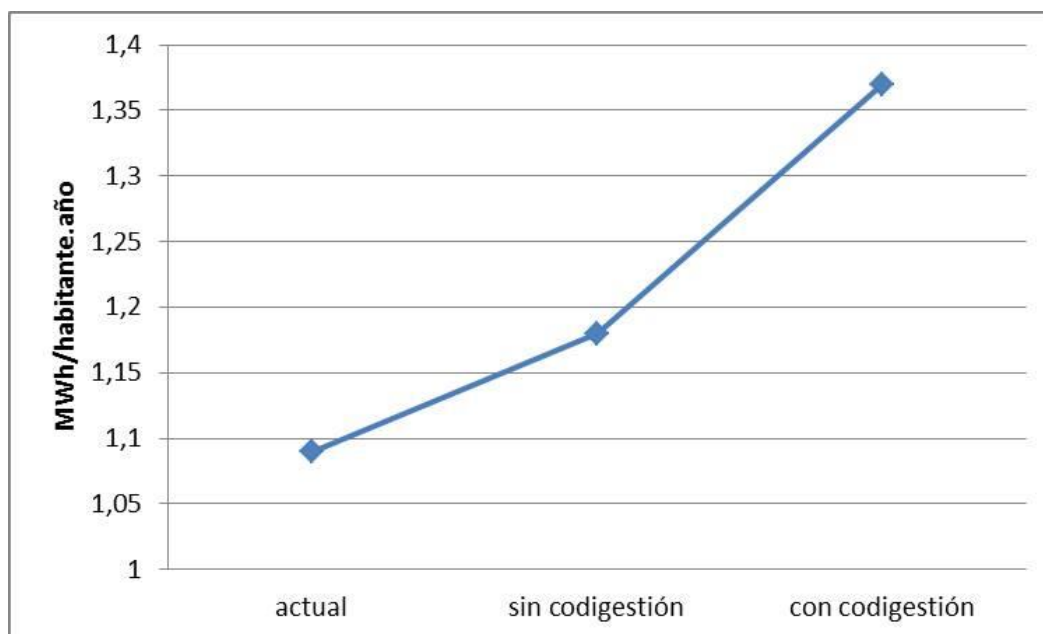


Figura 5. Electricidad per cápita con el aprovechamiento de residuos agroganaderos

La electricidad generada a partir de los residuos agroganaderos contribuye para elevar el consumo per cápita en 25,69%.

Conclusiones

El aprovechamiento energético de los residuos agroganaderos y en particular de los residuos porcinos, además de representar una solución ambiental y energética tiene reflejos positivos del punto de vista económico y social.

La reducción de la contaminación del aire y de los cursos del agua es esencial para que los porcicultores puedan cumplir la legislación medioambiental. Además, otro subproducto de la codigestión anaerobia, el digestato, puede ser utilizado como biofertilizante añadiendo valor agronómico y económico al proceso.

La inserción de la electricidad generada puede evitar la construcción de nuevas pequeñas centrales hidroeléctricas en la región evitando así impactos ambientales y sociales.

El aumento de la oferta de electricidad puede representar la mejoría de la calidad de vida de las personas con reflejos en el índice de desarrollo humano regional.

La producción, transmisión y distribución de electricidad pueden representar una reducción en la evasión de dinero, ya que la energía puede ser producida y consumida "in loco" no siendo exportada a otras regiones.

Hay la necesidad de profesionales en mantenimiento y operación, por lo que la creación de puestos de trabajo es otra consecuencia directa de la aplicación de estos proyectos.

Sin embargo, son necesarias políticas públicas claras y eficaces de incentivos para la generación distribuida y el aprovechamiento energético de residuos agrogenadores. Sin eso, este potencial no se puede convertir en capacidad instalada.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Viçosa (UFV) y Universidad de Valladolid (UVa) por su apoyo financiero y logístico para el desarrollo de la investigación.

Bibliografía

- Andrews, S., 2006. Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations. White Paper, published online. USDA Natural Resources Conservation Service.
- ANEEL, 2014. Banco de Informações de Geração: Capacidade de Geração do Estado de Minas Gerais. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponible en: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp?tipo=5&fase=3&UF=MG:MINAS%20GERAIS>, (consultado en: Septiembre 2014).
- ANEEL, 2015. Resumo Geral dos Novos Empreendimentos de Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponible en: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=37&idPerfil=2>, (consultado en: Marzo 2015).
- CEMIG, 2012. 27º Balanço Energético de Minas Gerais - BEEMG, 2012, Ano base 2011. Companhia Energética de Minas Gerais.
- Coimbra-Araújo, C. H., Mariane, L., Bley Júnior, C., Frigo, E.P., Frigo, M. S., Araújo, I. R. C., Alves, H. J., 2014. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. *Renew. Sustainable Energy Rev.* 40, 826-839.
- Cools, D., Merckx, R., Vlassak, K., Verhaegen, J., 2001. Survival of *E. Coli* and *Enterococcus* spp. Derived From Pig Slurry in Soils of Different Texture. *Appl. Soil Ecol.* 17, 53-62.
- De Paoli, F., Bauer, A., Leonhartsberger, C., Amon, B., Amon, T., 2011. Utilization of by-products from ethanol production as substrate for biogas production, *Bioresour. Technol.* 102 (11), 6621-6624.
- EPE, 2012. Empresa De Pesquisa Energética (Brasil). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2012. Disponible en: http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Form_s/Anurio.aspx. (consultado en: Junio 2014).

- Fischer, E., Schmidt, T., Hora, S., Giersdorf, J., Stinner, W., Scholwin, F., 2010. Agro-industrial biogas in Kenya, Potentials, Estimates for Tariffs, Policy and Business Recommendations. Federal Ministry of Economics and Technology, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Fleming, R. and M. Ford. 2001. Humans versus Animals - Comparison of Waste Properties. Disponível em: http://www.ridgetownnc.uoguelph.ca/research/documents/fleming_huvsanim0107.PDF . (consultado em: Abril, 2015).
- Hashimoto, A.G., 1983. Conversion of straw-manure mixtures to methane at mesophilic and thermophilic temperatures. *Biotechnol. Bioeng.* 25, 185–200.
- Hills, D.J., Roberts, D.W., 1981. Anaerobic digestion of dairy manure and field cropresidues. *Agric. Wastes* 3, 179–189.
- IBGE, 2014a. Pesquisa Agrícola Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=28&i=P>, (consultado em: Setembro 2014).
- IBGE, 2014b. Pesquisa Pecuária Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/default.asp?o=27&i=P>, (consultado em: Setembro 2014).
- IEA, 2013. Key World Energy Statistics, Internacional Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>, (consultado em: Agosto 2014).
- KTBL, 2014. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Disponível em: <http://daten.ktbl.de/euagrobiogasbasis/startSeite.do;jsessionid=B9227F8151EE276102038F7038DC3710?selectedAction=start>. (consultado em: Setembro de 2014).
- Lost Dutchman Coffee Company, 2015. Disponível em: <http://lostdutchmancoffee.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/09/Map.jpg>, (consultado em: Março 2015).
- Metcalf & Eddie., 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. Mc Graw-Hill, New York.
- MINAS GERAIS, 2014. Disponível em: http://www.minas-gerais.net/diretorio/index.php?cat_id=763, (consultado em: Agosto 2014).
- Moura, A. D., Junqueira, B. A., Rocha, D. T., Silva Jr. A. G., 2004. Relatório complementar de caracterização do arranjo produtivo da suinocultura de Ponte Nova (MG) e região. SEBRAE – MG, 16 p.
- Murthy, P. S., Naidu M. M., 2012. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 66, 45-58.
- Netto, M. M., Diniz, A. M. A., 2005. A estagnação sócio-econômica da Zona da Mata de Minas Gerais: uma abordagem geohistórica. X Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo.
- Orrico Junior, M. A. P.; Orrico, A. C. A., Lucas Junior, J., 2011. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Eng. Agríc.*, 31 (2), 399-410 .
- Ouedraogo, N. S., 2013. Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy*, 63, 28-41.
- Pantaleo, A., De Gennaro, B., Shah, N., 2013. Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 57-70.
- Paula, A. R. P. ; Cristovao, E. C. ; Miranda, H. P. ; Amaral, T. O., 2013. Vocação Energética na Zona da Mata Mineira. XIV Encontro de Geógrafos da América Latina, Lima – Peru.

- Petersson, A., Thomsen, M. H., Hauggaard-Nielsen, H., Thomsen, A. B., 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean, *Biomass and Bioenergy*, 31, 812-819.
- Santos, F. A., Queiróz, J. H., Colodette, J. L., Fernandes, S. A., Guimarães, V. M., Rezende, S. T., 2012. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, 35(5), 1004-1010.
- Souza, S. N. M., 2001. Energia excedente de biomassa nas usinas de açúcar e álcool para produção de hidrogênio In: IV Congresso Internacional de Ingeniería Agrícola. vol.01, p.131–133.
- Souza, S. N. M. de, Sordi, A., OLIVA, C. A., 2002. Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Disponible en: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200042&lng=en&nrm=abn. (Consultado en: Septiembre 2014).
- Souza, C.F.; Carvalho, C.C.S.; Campos, J.A.; Matos, A.T., Ferreira, W.P.M., 2009. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. *R. Ceres*, 56, 128-133.
- Suwansri, S., Moran, J.C., Aggarangsi, P., Tipayawong, N., Bunkham, A., Rerkkriangkrai, P., 2014. A biomethane solution for domestic cooking in Thailand. *Energy Sustain. Dev.* 23, 68-77.
- Warr, B.S., Ayres, R.U., 2010. Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth. *Energy*, 35, 1688-1693.
- Weiland P., 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85(4), 849–860.

E03 - Análisis comparativo y determinación del sistema óptimo para la electrificación mediante energía fotovoltaica en el ámbito agrario

Muñoz-García, M.A.¹; Wang, H.¹, Moreda, G.¹, Alonso-García, M.C.²

¹ Dep. Ingeniería Agroforestal. E.U.I.T. Agrícola, UPM, Avda. Complutense, s/n; 28040 Madrid, ² Dep. Energías Renovables. CIEMAT, Avda. Complutense, s/n; 28040 Madrid, Espana miguelangel.munoz@upm.es

Resumen

Este trabajo analiza varias posibilidades de suministro eléctrico: conexión a la red eléctrica y alimentación con distintos sistemas basados en energía solar fotovoltaica. El objetivo es facilitar la decisión a los usuarios del ámbito agrario a la hora de determinar el sistema más ventajoso de acuerdo a la aplicación concreta. La Península Ibérica tiene una situación privilegiada en cuanto a disponibilidad del recurso solar. Este hecho hace que la energía fotovoltaica sea, en muchos casos, económicamente más rentable que el suministro eléctrico desde la red pública. Para determinar cuándo es más rentable una u otra, se propone un análisis de la distancia a la red eléctrica, así como el uso mensual y anual de dicha energía. En base a esto, se proponen distintas alternativas de tecnologías de energía fotovoltaica o bien la conexión a la red eléctrica. Se realiza un análisis teniendo en cuenta que existen hoy en día tecnologías emergentes de paneles solares que los harán más apropiados en unos casos frente a otros. De esta forma, se busca una fórmula que determine la solución óptima para cada caso, en base a datos objetivos y fiables. Dada la bajada de precios de los elementos que componen un sistema fotovoltaico, y la eliminación de rebajas que antes eran aplicadas a los consumidores de electricidad para usos como el riego, se considera este un trabajo de gran utilidad para la reducción de costes en el ámbito agrario

Palabras clave: suministro eléctrico

Comparative analysis and determination of the optimal system for electrification through photovoltaics on agriculture

Abstract:

This paper analyzes various possibilities for power supply: connection to the electricity supply network (grid connected systems) and different photovoltaic based solar energy systems. The aim is to facilitate the decision to users of agricultural sector to determining the most advantageous system according to the specific application. The Iberian Peninsula has a privileged location in the availability of solar resources. This makes photovoltaics, in many cases, more profitable than the power supply from the public electricity supply network. To determine when it is more profitable, an analysis of the grid distance and the monthly and annual use of energy are proposed. Based on this, various alternative of photovoltaic technologies or the connection to the grid are proposed. The analysis takes into account photovoltaic emerging technologies that will make solar panels more appropriate in some cases over others, depending on their performance. Thus, we seek a formula that determines the optimal solution for each case, based on objective and reliable data. Given the drop in prices of the elements of a photovoltaic system, and once Government aids that were previously applied to electricity consumers for uses such as irrigation, this work is considered useful for reducing costs in the agriculture field.

Keywords: Power supply

Introducción

A la hora de acometer un proyecto de electrificación rural, vgr. de suministro eléctrico para bombeo de agua para riego, tradicionalmente se planteaba la elección entre dos alternativas: enganche a la red eléctrica o instalación de grupo electrógeno diésel. En los últimos años, una tercera opción ha entrado en juego: el uso de energías

renovables, concretamente la energía solar fotovoltaica. El bombeo solar es una aplicación típica de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo hoy día se pueden encontrar aplicaciones tales como elementos de sombreado en invernaderos (Serrano, 2013).

La subida de los precios de la electricidad ha sido constante en los últimos años (Eurostat, 2014). Este hecho ha sido más acusado en el ámbito agrario, en países como España, donde se han eliminado ayudas que se venían ofreciendo a los regantes para la extracción de agua mediante electrobombas; si bien parte de estas ayudas se han recuperado recientemente en forma de reducción de impuestos (BOE-A-2014-13678). Por otro lado, la bajada en el precio del principal componente de un sistema fotovoltaico, el panel solar, ha sido imparable (UNEF, 2014).

El precio del petróleo ha experimentado una subida netamente constante en los últimos años, con bajadas que nunca llegaron a compensar las subidas anuales (Valle, 2012) ; por ello en este trabajo no se considera la opción de sistemas diésel. Además, de acuerdo con la Estrategia UE 2020 (Comisión Europea, 2014), es conveniente fomentar aquellos sistemas que contribuyan a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

Mahapatra y Dasappa (2012) compararon el coste total de tres alternativas para la electrificación de pequeños núcleos de población rural en India: Extensión de la red eléctrica, sistema fotovoltaico aislado y grupo electrógeno alimentado con biomasa gasificada. La última alternativa está basada en un sistema de combustión parcial de la biomasa ensayado por dichos investigadores, en el cual se obtiene una mezcla de gases con un 20% de H_2 . Desglosaron el coste total de cada alternativa en inversión inicial más gastos anuales de funcionamiento. Calcularon el coste de la energía en cada alternativa dividiendo el coste total (en US\$) por la energía total producida (en kWh) por el sistema en toda su vida útil. Obtuvieron que para aldeas con baja demanda eléctrica situadas a gran distancia del punto de conexión a la red eléctrica más cercano, el sistema más ventajoso fue el de biomasa gasificada, seguido de cerca por el fotovoltaico. Sostuvieron que contrariamente a la creencia generalizada de que la inversión inicial en un sistema de energía renovable es muy elevada, la generación distribuida o descentralizada puede ser competitiva. Calcularon el *límite de distancia económica* (LDE), o distancia mínima desde el punto de consumo al punto más cercano de conexión a red a partir de la cual el sistema de energía renovable empieza a ser más económico que el sistema centralizado o de extensión de red. Por ejemplo, para una potencia demandada de 25 kW, obtuvieron un LDE de 25 km para el sistema de biomasa gasificada y de 35 km para el fotovoltaico aislado.

Chueco-Fernández y Bayod-Rújula (2010) compararon el coste de abastecimiento eléctrico para bombeo de agua de pozos en el norte de Chile a partir de tres alternativas: sistema fotovoltaico aislado, grupo electrógeno diésel y extensión de red. Mencionaron que la elevada altitud correspondiente a esa zona geográfica favorece al sistema fotovoltaico frente a las otras dos alternativas, ya que la menor densidad del aire conlleva una disminución de potencia, tanto en motores diésel como en equipos eléctricos, en este último caso debido a la mayor dificultad de refrigeración por aire (alternador del grupo electrógeno, transformadores etc.). Determinaron que de acuerdo con la fórmula de Still, las extensiones de red a tensión nominal de 13,2 kV (valor de tensión habitual en Chile, próximo en cierta medida a la tensión de 20 kV en España) son la opción más económica hasta una distancia máxima de 9 km. También

Así mismo, se considera un sistema fotovoltaico desconectado de la red eléctrica y sin baterías de respaldo. Sólo se utilizarán baterías para cubrir reducciones cortas de irradiancia por paso de nubes. Esto hace al sistema menos versátil, pero tiene la ventaja de reducir notablemente su coste. Además, la elección de dicha opción, se justifica en base a que en días con menos irradiación, la necesidad hídrica también es menor. No obstante Como apoyo se puede utilizar una balsa de agua que sirva de elemento tampón. En los cálculos deben tenerse en cuenta aspectos como la degradación de los paneles (Muñoz 2011, 2012, 2013).

Se ha tenido en cuenta una eficiencia del convertidor del 85%, siendo este de acople directo a las baterías que, como sea mencionado, solo se utilizan para amortiguar descensos de irradiancia de corta duración y de este modo impedir la parada de las bombas. Dicha parada asociada al paso de la nube va seguida del correspondiente arranque posterior una vez ha desaparecido la nube. Esto presenta el inconveniente de continuas paradas y arranques, lo que no es conveniente para el motor. Se considera una eficiencia por uso de baterías del 90%.

Las necesidades hídricas, en cantidad y frecuencia, variarán con el cultivo. También lo hará la profundidad a la que se encuentra el nivel freático. Por tanto, ante la variabilidad de la misma, no va a considerarse.

Respecto al coste del suministro eléctrico, se ha considerado un suministro en alta tensión, incluyendo el coste de la extensión de la línea y el del transformador, prorrateado a los kilómetros de distancia a la línea. Se ha considerado a su vez el coste de la energía incrementado en un porcentaje debido al coste del término de potencia. Se utiliza para el cálculo la fórmula del coste de la energía ponderado, o *Levelised Cost Of Energy* (LCOE):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Donde:

- LCOE = Coste medio de la generación eléctrica (€/kWh)
- I_t = Gastos de inversión en el año t (€)
- M_t = Gastos de operación y mantenimiento in the year t (€)
- F_t = Fuel expenditures in the year t (€)
- E_t = Producción eléctrica en el año t (kWh)
- r = Tasa de descuento
- n = Vida útil de la instalación (años)

Para el análisis comparativo de las distintas tecnologías, se han utilizado los datos de la Planta Experimental de la EUIT Agrícola. Dicha planta cuenta con dos zonas diferenciadas. La primera (zona de producción), utiliza un solo inversor trifásico de 15 kWn de potencia y una única tecnología de paneles fotovoltaicos: mc-Si. La segunda (zona experimental), si bien también produce energía eléctrica que es inyectada en la red, está específicamente diseñada para comparar tres tecnologías de paneles solares: CdTe, a-Si y mc-Si, e incluye tres inversores de 1.2 kWn cada uno formando una estrella para generación en trifásica (Figura 2) (Muñoz 2012, 2013). El sistema, por tanto, es de 18,6 kWn.

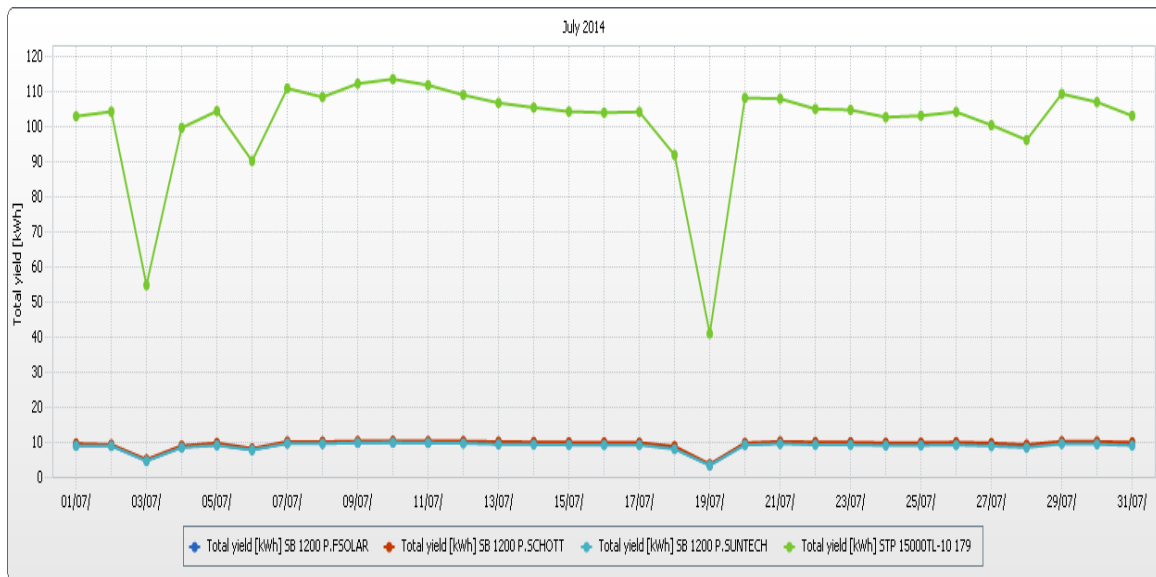


Figura 2 .- Datos de producción de un mes de julio para las distintas tecnologías fotovoltaicas a comparar

Respecto a los cálculos realizados para la estimación del coste de la compra de electricidad a la red eléctrica, se han contabilizado tanto los costes de compra de la energía eléctrica en el periodo de utilización, como la inversión en la conexión a la red eléctrica. Para la primera variable, se han tenido en cuenta los datos actuales de coste de la energía eléctrica (Figura 3). Respecto al coste de conexión a la red, se han barajado tres posibilidades: Conexión en Baja Tensión (BT), conexión aérea en Media Tensión (MT-aérea) y conexión subterránea en Media tensión (MT-subterránea). En todos los casos, el coste del transformador que siempre sería necesario, se ha repercutido en el coste por metro (Tabla I).

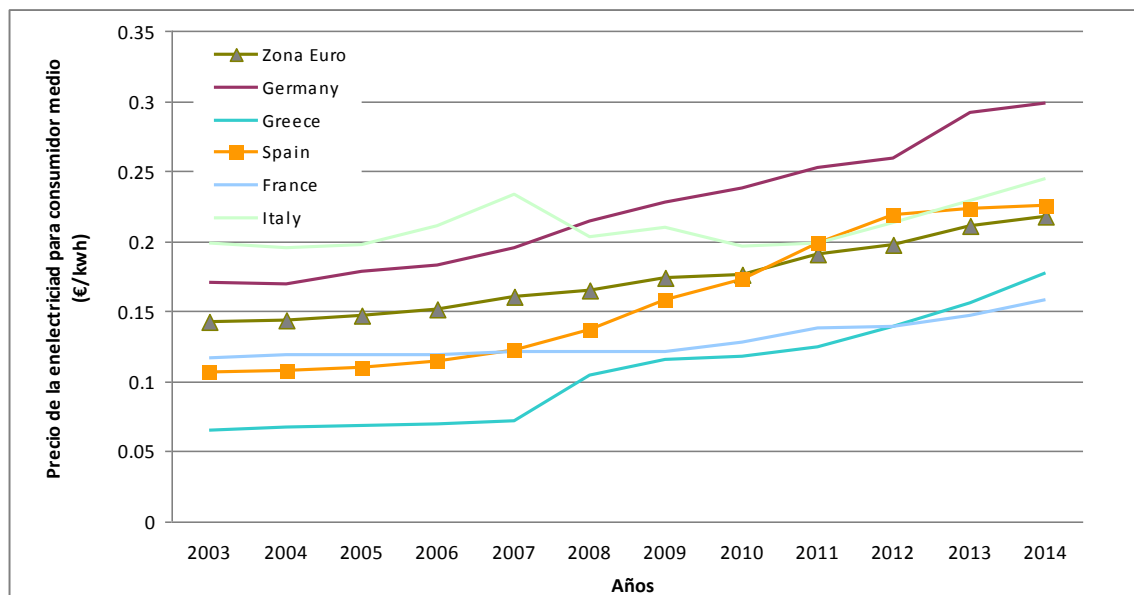


Figura 3 .- Evolución del precio de la electricidad en países de la Zona Euro. Fuente: Eurostat 2014

Por simplicidad, se considera asimismo, una única potencia, de 100 kW. La fórmula permitiría realizar comparativas a distintas potencias. Se considera que la conexión a la red eléctrica estará operativa 60 años, y se realizan los cálculos de consumo para ese periodo.

Tabla I.- Coste de la conexión a la red eléctrica en función del tipo de red

	Coste de la instalación (€/m)
BT (subterránea)	120
Media Tensión, aérea	20
Media Tensión, subterránea	80

Por último, indicar que se ha estimado un uso de 1000 h/año, tanto para la conexión a la red eléctrica como para el uso de energía fotovoltaica. Esto se ha hecho así, puesto que se estarían evaluando sistemas para el bombeo de agua, principalmente. Se considera por tanto que los días de riego serían 200, centrados en el verano (meses con mayor radiación) y que el uso diario de la energía sería el equivalente a 5 h/d.

Resultados y Discusión

En un sistema fotovoltaico, el coste del kWh está directamente ligado al número de horas de sol. Así mismo, el coste también tendrá que ver con el % de uso de la energía disponible. Como se dijo antes, se considera un uso de 200 d/año, con 5 h/d, lo cual es aproximadamente un 70% de uso de la energía disponible en el sistema. Con estas consideraciones, se obtiene la siguiente gráfica (Figura 4).

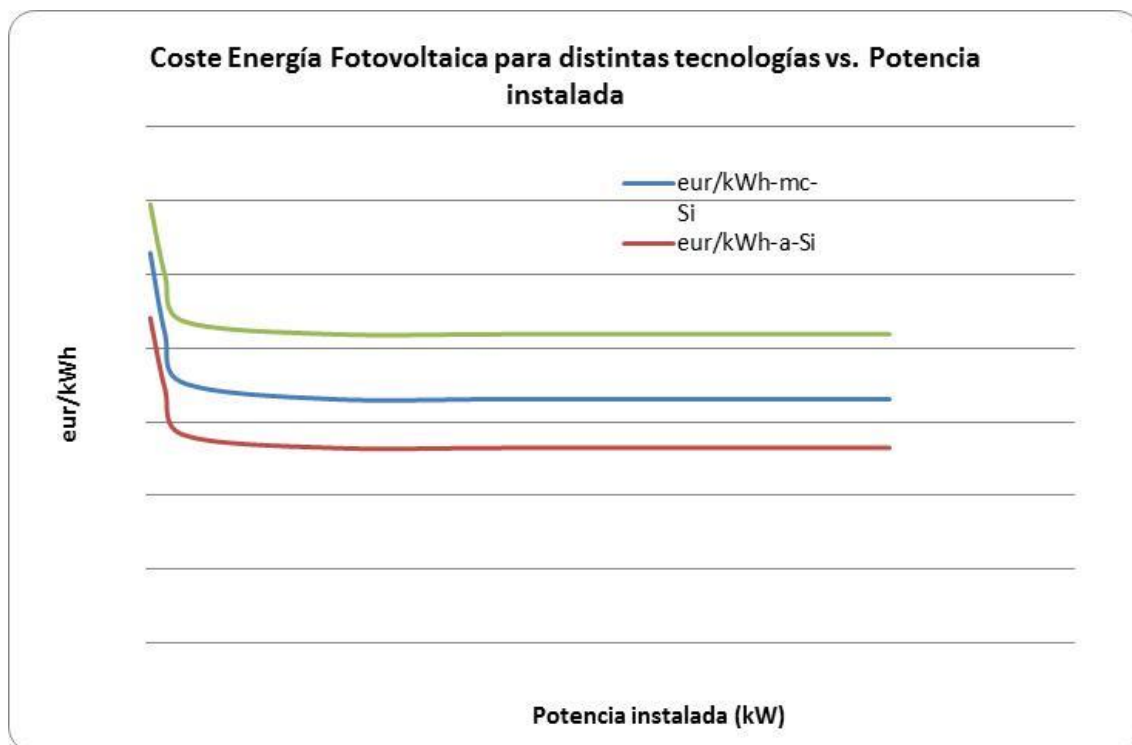


Figura 4.- Coste de la energía eléctrica generada con tres tipos de paneles fotovoltaicos.

Respecto al sistema conectado a la red, lo que marcará el coste, será fundamentalmente el precio de la conexión a la red de distribución. En ese caso, el precio estará relacionado de una forma aproximadamente lineal con la distancia al punto de conexión. Se ha considerado un sistema de 100 kW de potencia con un uso de 1000 h/año, para poder compararlo con el sistema fotovoltaico. En este caso obtenemos la siguiente gráfica (Figura 5).

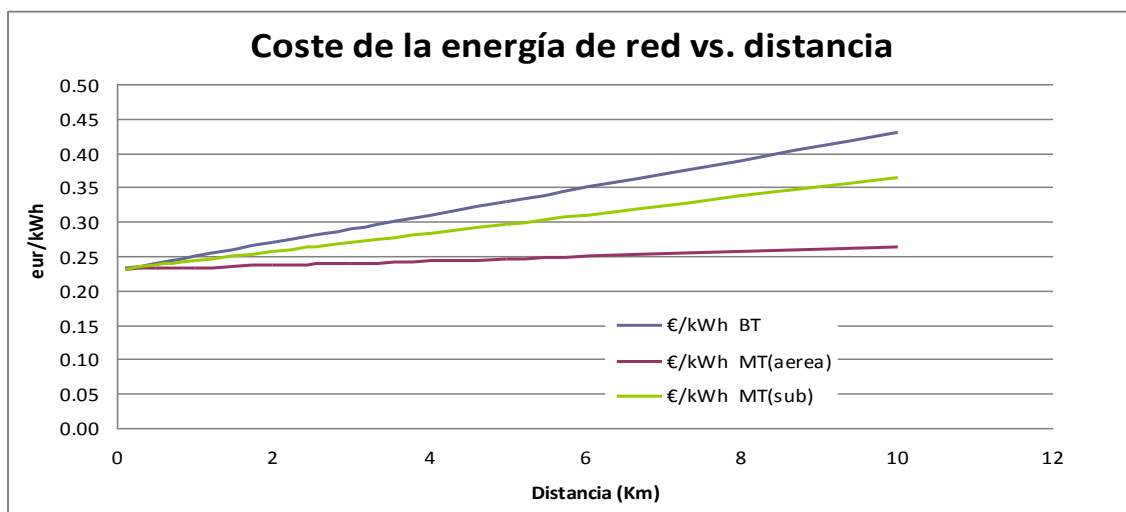


Figura 5 .- Coste de la energía eléctrica comprada a la red eléctrica, incluido el coste de conexión.

Se puede apreciar, por comparación de ambas gráficas, cómo a partir de 10 kW de potencia los sistemas fotovoltaicos son más rentables para cualquier distancia de conexión a la red. No obstante, para sistemas de inferior potencia, se puede optar por ambos sistemas si la distancia de conexión a red es inferior a 1 km.

Conclusiones

La principal conclusión es que los sistemas fotovoltaicos no solo son una alternativa económicamente viable a los sistemas tradicionales conectados a la red, sino que paulatinamente su rentabilidad se irá incrementando, dada la constante subida de precios de la electricidad y la bajada en el precio de los paneles fotovoltaicos.

Se consideran técnicamente igual de rentables los sistemas basados en nuevas tecnologías de paneles solares y los basados en silicio cristalino tradicional. Si bien, será más rentable el sistema basado en Silicio amorfo (a-Si). No obstante, debe tenerse en cuenta que dicho sistema ocupará una extensión de terreno que será el doble que la ocupada por sistemas basados en Silicio cristalino (mc-Si) o en Teluro de Cadmio (CdTe), por lo que en su caso habrá de tenerse en cuenta el coste del terreno.

Agradecimientos

Agradecemos al Ingeniero de Caminos, D. José Domingo Fernández Corrochano, de la empresa INCISA, sus aportaciones para los cálculos de costes de conexión a la red eléctrica.

Bibliografía

- BOE-A-2014-13678. Orden HAP/2489/2014, por la que se establecen la estructura y el funcionamiento del censo de obligados tributarios por el Impuesto Especial sobre la Electricidad, se aprueba el modelo 560 «Impuesto Especial sobre la Electricidad. Autoliquidación» y se establece la forma y procedimiento para su presentación. *Boletín Oficial del Estado*.
- Chueco-Fernández, F.J., & Bayod-Rújula, A.A. (2010). Power supply for pumping systems in northern Chile: Photovoltaics as alternative to grid extension and diesel engines. *Energy*, 35: 2909-2921.

- Comisión Europea. (2014). Progreso en la consecución de los objetivos de Kyoto y UE 2020. Disponible en: http://ec.europa.eu/clima/politicas/gas/docs/kyoto_progress_2014_en.pdf
- EUROSTAT (2014). Electricity prices components for domestic consumers - annual data Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=ten00117>
- Huld T., Müller R., Gambardella A., 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86, 1803-1815.
- Mahapatra, S., & Dasappa, S. (2012). Rural electrification: Optimising the choice between decentralised renewable energy sources and grid extension. *Energy for Sustainable Development*, 16: 146:154.
- Marín González, O. , Raga Arroyo, M.P. , Alonso García, M.C. and Muñoz-García, M.A. (2013). Practical issues for testing thin film PV modules at standard test conditions.. In: "The 2013 International Doctoral Forum of Electronic Science and Technology", 9/7/2013-13/7/2013, Beijing, China.
- Muñoz-García, M.A. , Moreda, G.P. , Alonso García, M.C. & Balenzategui, J.L. (2013). Electricity production using different photovoltaic technologies working at the same conditions , a real case. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 22 (n. Suppl.); pp.. ISSN 1004-0579.
- Muñoz-García, M.A. , Marín González, O. , Alonso García, M. Carmen & Chenlo, F. (2012). Characterization of thin film PV modules under standard test conditions: Results of indoor and outdoor measurements and the effects of sunlight exposure. *Solar Energy*, 86: 3049-3056.
- Muñoz-García, M.A., Alonso García, M.C., Vela, N. & Chenlo, F. (2011). Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions. *Solar Energy*, 85 (9): 2264-2274.
- Muñoz-García, M.A. , Chenlo, F. & Alonso García, M. C (2011). Influence of initial power stabilization over crystalline-Si photovoltaic modules maximum power. *Progress in Photovoltaics*, 19 (4): 417-422.
- Muñoz-García, M.A., Moreda, G.P., Valle-García, A., Novillo, J., Alonso García, M.C. & Chenlo, F. (2012). Grid-connected roof solar plants in educational institutions for testing and electricity generation: a case in Spain.. In: "27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition", Septiembre-2012, Frankfurt, Germany.
- Muñoz-García, M.A., Cabrera, P. , Moreda, G.P. & Chenlo, F. (2011). Medición en campo de la potencia máxima entregada por paneles fotovoltaicos bajo condiciones estándar de medida. In: "VI Congreso Ibérico de AgroIngeniería", 05/09/2011 - 07/09/2011, Évora, Portugal.
- Serrano Burillo, I. , Muñoz-García, M.A. , Alonso García, M.C. & Vela, N. (2013). Evaluación del uso de paneles solares como elemento de sombreado en invernaderos. In: "VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas", 26/09/2013 - 27/09/2013, Madrid.
- Šuri M., Huld T.A., Dunlop E.D., & Ossenbrink H.A.(2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81: 1295–1305.
- UNEF (2014). La Energía Fotovoltaica Conquista el Mercado. *Informe Anual*. Unión Española Fotovoltaica.
- Valle-García, A. , Muñoz-García, M.A. , Moreda, G.P. & Chenlo, F. (2012). Success possibilities of grid parity in particular cases in the new Spanish regulatory framework. In: "27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition", Septiembre-2012, Frankfurt, Germany.

E04 - Análisis y predicción del consumo eléctrico de un invernadero en el sudeste de España.

Hernández, C.¹; Del Sagrado, J. ¹; Rodríguez, F. ¹, Moreno, J. C. ¹, Sánchez, J. A.¹

¹Universidad de Almería Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3)
CIESOL Centro de Investigación en Energía Solar, Departamento de Informática. Ctra.
Sacramento s/n, Almería 04120, España, chdezh@ual.es; frrodrig@ual.es;
jsagrado@ual.es; jcmoreno@ual.es; jorgesanchez@ual.es

Resumen

La demanda energética de un invernadero tecnificado está relacionada con: el control del clima interior (ventilación, sistema de calefacción, enriquecimiento de CO₂...), la irrigación, la fertilización y el uso de maquinaria y sistemas de apoyo a las tareas de cosecha y post-cosecha. El objeto de estudio en este trabajo es un invernadero tecnificado multicapilla "tipo Parral", con un área de 877 m², orientado en dirección N-S, ubicado en la Estación Experimental "Las Palmerillas" de la Fundación Cajamar, en El Ejido (Almería). Está diseñado para llevar a cabo ensayos que permitan el modelado del sistema y la implementación de estrategias de control de humedad, CO₂, ventilación y calefacción aeroterma y por tubería, fertirrigación y clima; adicionalmente se han instalado una serie de vatímetros conectados a un sistema de adquisición de datos. Este trabajo analiza la demanda de potencia y su caracterización con el objetivo de construir y evaluar modelos usando clasificadores basados en redes bayesianas: *Naive-Bayes (NB)*, *Tree Augmented Naive-Bayes (TAN)* y *K-dependent (KDB2)*. La utilidad de estos modelos reside en su capacidad de percibir las relaciones entre las variables en el invernadero identificando dependencias probabilísticas entre ellas y en su capacidad para hacer predicciones sin la necesidad de observar todas las variables presentes en el modelo. Los modelos se obtienen usando datos desde Octubre de 2013 hasta Mayo de 2014. Son de especial interés los meses que presentan mayor consumo: 1.836 kWh/mes en enero de 2014 y 1.658 kWh/mes en febrero de 2014. Se realizan comparaciones entre diferentes modelos de clasificación y se presentan los resultados obtenidos. El clasificador que presenta mejor resultado es KDB2 con un acierto de clasificación de 88.8%, frente a NB y TAN, que obtienen un 66.7% y un 83.6%, respectivamente.

Palabras clave: Clasificación, predicción, redes bayesianas, necesidades energéticas.

Analysis and prediction of power demand of a greenhouse in southeastern of Spain

Abstract

The energy demand of a tech greenhouse is related to: the interior climate control (cooling, heating, CO₂ enrichment, ...), irrigation, fertilization and the use of equipment and systems to support the tasks of harvesting and post-harvest. The system subject of research on this work is a High-Tech greenhouse multispans 'Parral type', with a surface area of 877 m², oriented to the N-S direction, the facilities are placed on the experimental station 'Las Palmerillas' of Cajamar Foundation, at the municipal term of 'El Ejido', on Almeria. It is designed to perform tests that allow the system modeling and implementation of humidity control strategies, CO₂, ventilation and heating and piped aeroterma, fertigation and climate; furthermore, a set of wattmeters connected to a data acquisition system has been installed. This work analyzes power demand and its characterization with the objective of build and evaluates classification models based on Bayesian networks: *Naive-Bayes (NB)*, *Tree Augmented Naive-Bayes (TAN)* and *K-dependent (KDB2)*. The utility of these models resides in their capacity of perceiving relations among variables in the greenhouse by identifying probabilistic dependences between them and their ability to make predictions without the need of observing all the variables present in the model. The models are obtained using data from October 2013 to May 2014. The most relevant months for the demand energy are: January 2014 with 1,836 kWh and February 2014 with 1,658 kWh. Comparisons between different classification models are made and the results are presented. The best

classifier is KDB2, obtaining a classification accuracy of 88.8%, versus NB and TAN obtaining 66.7% and 83.6% respectively.

Keywords: Classification, prediction, Bayesian networks, energy needs.

Introducción

Los invernaderos son ideales para la agricultura debido a que permiten optimizar parámetros físicos que influyen en el proceso de fotosíntesis con el fin de mejorar la producción de biomasa. Esta optimización requiere consumo eléctrico, dependiendo de los requerimientos fisiológicos de los cultivos y, además, dependiendo de los patrones de producción adoptados (Tüzel and Leonardi, 2009).

El clima cálido, que existe en varios lugares alrededor del mundo, se caracteriza por una baja precipitación anual, y en consecuencia una alta disponibilidad de radiación solar (Sánchez *et al.*, 2012). Con veranos cálidos y temperaturas suaves en invierno, los invernaderos funcionan bien en términos generales, siempre que las necesidades de agua de los cultivos se encuentren con recursos subterráneos locales y haciendo un uso óptimo de agua mediante sistemas de riego. A pesar de los buenos resultados que se puedan obtener debido a las condiciones climáticas, es posible que en un número importante de horas durante el año, se requieran medidas activas para mantener el crecimiento de los cultivos y aumentar la productividad de efecto invernadero (Baudoin and Baeza, 2013; Giacomelli *et al.*, 2007; Von Zabeltitz, 2010). Para esto, es importante implementar estrategias de control climático, donde una cantidad correspondiente de energía eléctrica debe ser considerada, debido a la eventual utilización de bombas de calor o enfriadores accionados eléctricamente, bombas de riego, así como ventiladores y motores para las ventanas accionadas eléctricamente (Sánchez *et al.*, 2012).

En este sentido, la demanda de potencia puede estar relacionada con lo siguiente: el control climático interior (ventilación, sistema de calefacción, humidificación, enriquecedores de CO₂,...), la irrigación, fertilización y la utilización de computadores y dispositivos de medida y control, iluminación y sistemas de apoyo para la cosecha y post-cosecha (Castilla and Hernández, 2007). En consecuencia, con el fin de caracterizar formalmente la demanda de potencia de todos los elementos disponibles dentro de un invernadero de alta tecnología, se propone un modelo basado en redes Bayesianas.

Continuando con el trabajo iniciado en (Hernández *et al.*, 2015), el enfoque de este trabajo es encontrar un modelo de predicción de la demanda de potencia que no considere como entradas los diversos actuadores del sistema (ya que no puede conocer el estado futuro de los actuadores) y, en su lugar sean consideradas las consignas de funcionamiento de las diferentes variables a controlar de los sistemas utilizados para control climático.

Material y Métodos

El invernadero y el sistema de adquisición de datos.

El sistema objeto de estudio de este trabajo es un invernadero multicapilla tipo “Parral”, con un área de superficie de 877 m² orientado en la dirección Norte-Sur (Figura 1). Las instalaciones se encuentran situadas en la estación Experimental “Las Palmerillas” de la Fundación Cajamar en el municipio El Ejido (Almería) en el sureste de España

(Rodríguez *et al.*, 2015). El invernadero cuenta con ventilación lateral y cenital accionada por motores AC independientes, sistemas de calefacción por tubería de agua caliente y aerotermos, enriquecimiento de CO₂ mediante la quema de biomasa, mallas de sombreado y sistemas de alimentación de agua y nutrientes. Además, dispone de un equipo de medición de 52 variables. Algunos sensores de este sistema son: sensor de humedad y temperatura (HMP45a, Vaisala, Finland), radiación global (MRG-1P. ITC, Almería, España), radiación PAR (PAR Lite), velocidad de viento (Model 12102, R. M. Young Company, Traverse City, Michigan, USA), dirección de viento (D-034B-CA, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, United Kindom), concentración de CO₂ (ZFP-DZ, Siemens, Munich, Germany), lluvia (WS 10 R. JUNG Electro Ibérica S.A. Barcelona, Spain). Además, cuenta con sensores de demanda energética (SINEAX M 561 with 1, 2 resp. 3 analog outputs), programables con una interfaz RS-232 que es usada para que un computador con el software correspondiente pueda ser conectado para la programación y ejecución de funciones auxiliares. Algunas características y/o beneficios de estos sensores son:

- Medición simultánea de varias variables de sistemas de alta potencia.
 - Corriente [A].
 - Voltaje [V rms].
 - Potencia activa/reactiva/aparente [W].
 - $\cos \varphi$, $\sin \varphi$.
 - Frecuencia [Hz].
- Salidas analógicas universales (programables).
- Voltaje de entrada hasta 693 V (fase-fase).
- Alta precisión: clase 0.5 (bajo condiciones de referencia).



Figura 1. Invernadero y sistema de adquisición de datos

Este sistema de adquisición está diseñado para el desarrollo de pruebas de identificación e implementación de estrategias de control climático, fertirrigación y consumo eléctrico. Para el control climático, la temperatura del aire y la humedad durante el día son controladas usando las ventanas laterales y cenitales, mientras que

por la noche son controladas usando las ventanas y el sistema de calefacción (Sánchez-Molina *et al.*, 2014), la demanda de potencia y las horas de uso del sistema sensorial y los actuadores se listan en la Tabla 1.

Redes bayesianas para la caracterización de la demanda energética

Las ventajas de utilizar BNs (Nielsen and Jensen, 2009) son principalmente su capacidad de razonar en condiciones de incertidumbre, junto con la combinación de una representación gráfica, basada en la teoría de la probabilidad. La representación gráfica de una BN proporciona una representación de las relaciones entre las variables en el modelo. La fuerza de estas relaciones se mide usando distribuciones de probabilidad condicional. Las redes Bayesianas (BNs) son ampliamente aceptadas como una técnica de razonamiento para hacer predicciones en muchos campos de investigación (del Sagrado *et al.*, 2014; Handa and Katai, 2003; Hunt *et al.*, 2000; Lee and Suh, 2009; Tinoco-Martínez *et al.*, 2014; Wang and Zhou, 2014). Formalmente una BN puede ser definida como sigue:

Definición. Una red bayesiana $B = (G, P)$ para un conjunto de variables $V = X_1, X_2, \dots, X_n$ consiste en:

- Un grafo acíclico dirigido $G = (V, L)$, donde cada nodo representa una de las variables en V , y un conjunto L de conexiones dirigidas a través de ellas.
- Un conjunto P de distribuciones de probabilidad condicional $P(X_i | pa(X_i))$ de cada variable X_i dada por un conjunto de padres $pa(X_i)$ en el grafo dirigido acíclico.

Desde el conjunto P de distribuciones de probabilidad condicional, la distribución de probabilidad conjunta se puede obtener aplicando la regla de la cadena:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | pa(X_i)) \quad (1)$$

Clasificadores basados en redes bayesianas

Un clasificador bayesiano puede ser considerado como un caso particular de red bayesiana, donde una variable cumple el rol de clase y las otras variables son consideradas atributos. La estructura de la red depende básicamente del tipo de clasificador (Nielsen and Jensen, 2009).

El proceso de clasificación consiste en identificar en qué categoría c_i de un conjunto de categorías $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ se encuentra un nuevo objeto $o = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, caracterizado a través de observaciones individuales de un conjunto de características (o atributos) $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$. Con el objetivo de estudiar la demanda energética del invernadero, se han aplicado tres paradigmas basados en redes bayesianas: Naïve Bayes (NB), Tree Augmented Naïve Bayes (Friedman *et al.*, 1997) y K-dependence Bayesian (KDB) (Sahami, 1996). La Figura 2 muestra mediante un ejemplo el condicionamiento de la probabilidad de un atributo respecto a la variable clase y al resto de atributos, para cada una de las redes bayesianas.

Resultados y Discusión

El objetivo de este trabajo es estudiar y modelar la demanda de potencia de un invernadero, para ello se ha aplicado un análisis teórico y experimental.

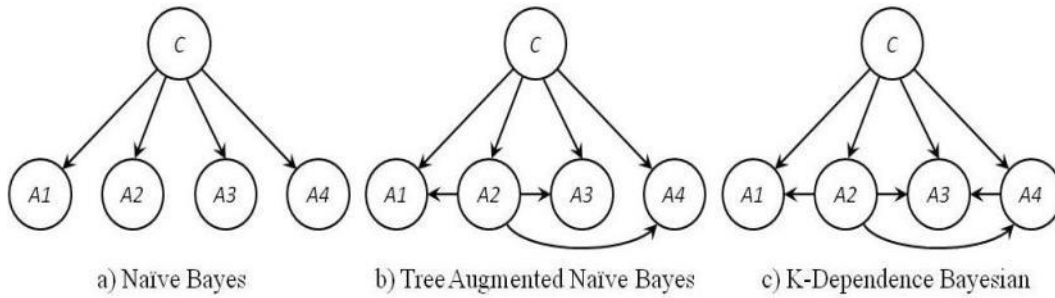


Figura 2. Ejemplos de estructuras NB, TAN y KDB2 con cuatro atributos y $K=2$.

El análisis teórico consiste en establecer el consumo de energía nominal en el año 2014 por los diferentes dispositivos de mayor interés que forman parte del invernadero, desde el punto de vista de la automatización. Para realizar esta estimación se ha considerado el número de horas de uso diario y la demanda de potencia nominal de cada uno (véase Tabla 1). La Figura 3 muestra los consumos nominales de energía del invernadero por mes en el año 2014.

La diferencia del consumo energético entre los meses fríos y los meses cálidos es considerable, por ejemplo, el costo económico estimado para el mes de Enero es de 277 € (considerando a 0.150938 €/kWh), frente a Julio con un costo estimado de 103 € (considerando a 0.125457 €/kWh). Los gastos en los meses fríos son prácticamente el doble comparados con los gastos en los meses cálidos, es por esto que es de suma importancia estudiar la demanda energética, con la finalidad de reducir gastos en el consumo energético. Las Figuras 4 y 5 muestran las diferencias que existen en la demanda de potencia en un día de un mes frío y un mes cálido, respectivamente. La diferencia se debe principalmente a la demanda de potencia (Tabla 1) que se requiere para el funcionamiento de los actuadores en el control climático. Para mantener una temperatura adecuada en los meses fríos, se hace uso de los actuadores del sistema de calefacción, por ejemplo, la bomba de calefacción. Mientras que para mantener una temperatura adecuada en los meses cálidos, se hace uso de sistemas de enfriamiento, por ejemplo, el uso de las ventilaciones laterales y cenitales, éstas son accionadas por motores AC independientes y tienen un consumo nominal mucho menor.

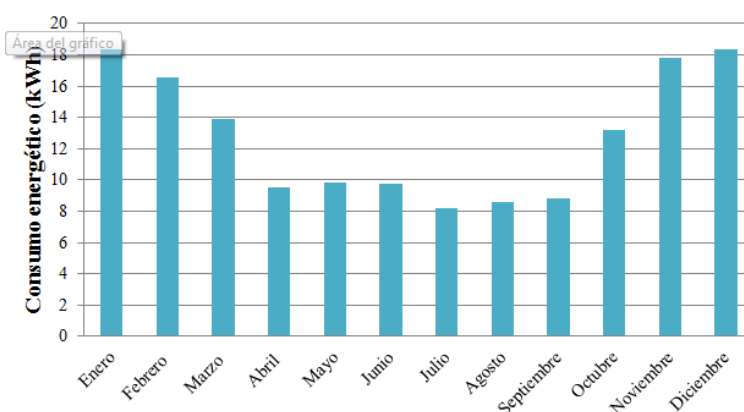


Figura 3. Consumo energético nominal en el año 2014.

Tabla 1. Análisis teórico de algunos elementos que forman parte del invernadero

Instrumentación	Potencia (W)	Horas de uso diario (h)
Sistema sensorial	10.87	24
Bomba de calefacción por tuberías	1,684	1
Motor de ventanas cenitales	188.47	1
Motor de ventanas laterales	84.22	1
Soplante	5,500	1
Bomba de riego	1,450	1
Sistema de comunicaciones	8	24
Tarjetas de adquisición de datos	110	24
Computador de control	750	24

Por otro lado, para el análisis experimental se ha tomado un conjunto de datos de demanda potencia real para los elementos que se muestran en la Tabla 1. El periodo del conjunto de datos comprende desde Octubre de 2013 hasta Mayo de 2014 con un tiempo de muestreo de 1 minuto, en este conjunto de datos se ha estudiado la distribución de la demanda de potencia en el invernadero.

Con la finalidad de caracterizar y modelar la demanda de potencia usando clasificadores basados en redes bayesianas, se han seleccionado una serie de variables que posiblemente tengan mayor influencia sobre la demanda de energía, similares a las empleadas en (Hernández *et al.*, 2015). Además se han aplicado técnicas de discretización de la demanda energética. El proceso de discretización permite sustituir la distribución real de los datos por una mezcla de distribuciones uniformes. Este proceso también reduce la dimensionalidad de los datos, transformando el rango de datos en un subconjunto de valores discretos o subrangos. Algunas de las razones para discretizar son: restricciones sobre el tipo de variables (es decir, categorías o nominal) que un algoritmo de clasificación pueda manejar, la mejora en el tiempo de cálculo mediante la reducción del número de particiones a ser evaluada y la reducción de ruido en los datos.

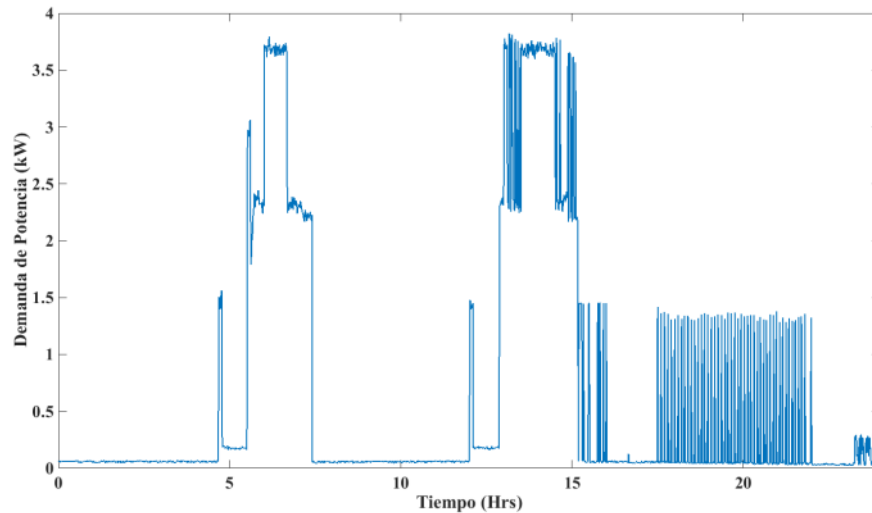


Figura 4. Demanda de potencia del día 2 de diciembre de 2014

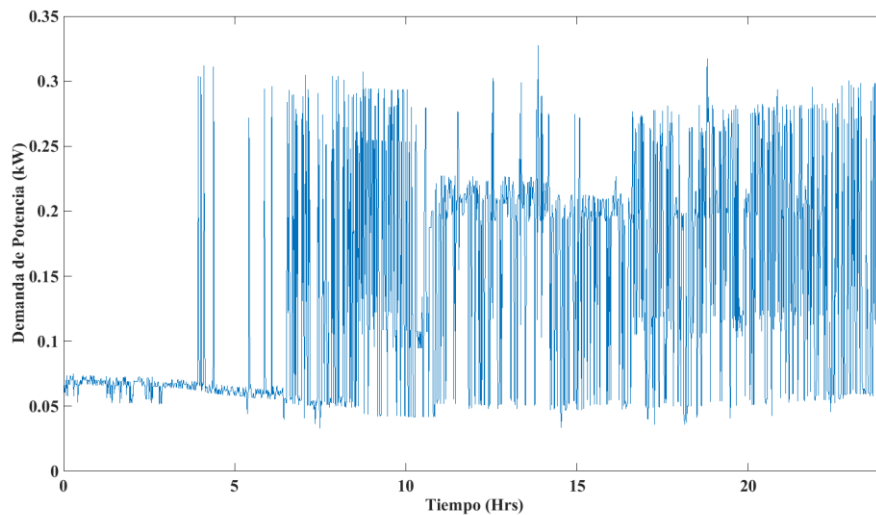


Figura 5. Demanda de potencia del día 29 de mayo de 2014

La Tabla 2 muestra las variables utilizadas en el conjunto de datos inicial, el rango de medida y las unidades relacionadas. Con el fin de obtener un modelo y para su posterior validación, se ha seleccionado un conjunto de entrenamiento, éste comprende los periodos desde el 4 de Octubre de 2013 hasta el 9 de Enero de 2014 y desde el 15 de Enero de 2014 hasta el 31 de Mayo de 2014, dejando el periodo desde el día 10 de Enero de 2014 hasta el 14 de Enero de 2014 para el conjunto de validación.

La Figura 6 muestra el comportamiento temporal de la demanda de potencia para el periodo desde el día 1 hasta el 19 de enero de 2014, destacando el periodo que será utilizado para validación del modelo. El equipo electrónico instalado en el invernadero introduce una energía eléctrica latente, que se transforma en ruido en los datos cuando se está intentando caracterizar la demanda de potencia mediante un clasificador BN. Estas observaciones corresponden a la demanda de potencia menor de 0.111 kW. Estos valores junto con los datos erróneos o falsas medidas debido a fallos en el funcionamiento del equipo electrónico o interrupciones temporales, son eliminados para

realizar las pruebas de ensayo. De esta manera, el conjunto de entrenamiento cuenta con 71,361 instancias.

Para realizar una descripción cuantitativa del conjunto de observaciones acerca de la demanda de energía, se resumen 5 valores estadísticos: mínimo (0.111 kW), primer cuartil (0.167 kW), mediana (0.267 kW), tercer cuartil (1.439 kW), máximo (4.3 kW), media (0.762 kW) y desviación típica (0.982 kW). La Figura 7a muestra la distribución de la demanda de energía, que como se observa presenta una asimetría positiva.

Tabla 2. Variables seleccionadas en el conjunto inicial

Variable	Rango de Variación	Unidades	Variable	Rango de Variación	Unidades
Mes	{1,2,...,12}	Mes	Consigna de temperatura diurna	[16,30]	°C
Hora	{0,1,...,23}	Hora	Consigna de temperatura nocturna	[5,35]	°C
Temperatura exterior	[5.24,30.14]	°C	Consigna de CO ₂	[0,1000]	ppm
Humedad relativa interior	[0,100]	%	Demanda de energía	[0,4.3]	kW
Radiación global interior	[0,649]	W/m ²			

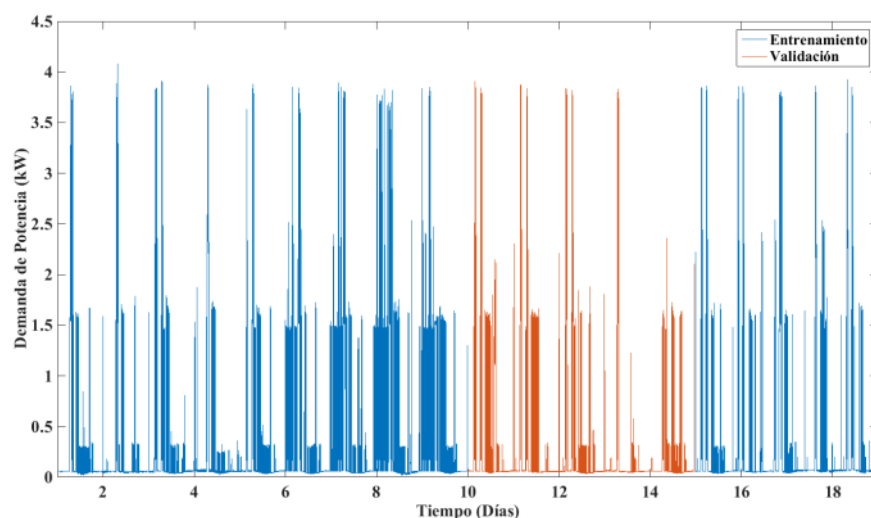


Figura 6. Demanda de potencia en el periodo comprendido desde el 1 de enero hasta el 19 de enero de 2014

Con el fin de caracterizar la demanda de potencia en intervalos abiertos y poder establecer una clasificación de ésta, se han elegido como puntos centrales los picos de

demanda de potencia que se muestran en la Figura 7a, los límites de los intervalos se han elegido como un compromiso entre separabilidad de las observaciones y la demanda de potencia. Asumiendo lo anterior, los intervalos quedan definidos como: $intervalo1 = [0.111, 0.9]$, $intervalo2 = (0.9, 2.01]$, $intervalo3 = (2.01, 3.25]$, $intervalo4 = (3.25, 4.3]$, la Figura 7b muestra el histograma obtenido.

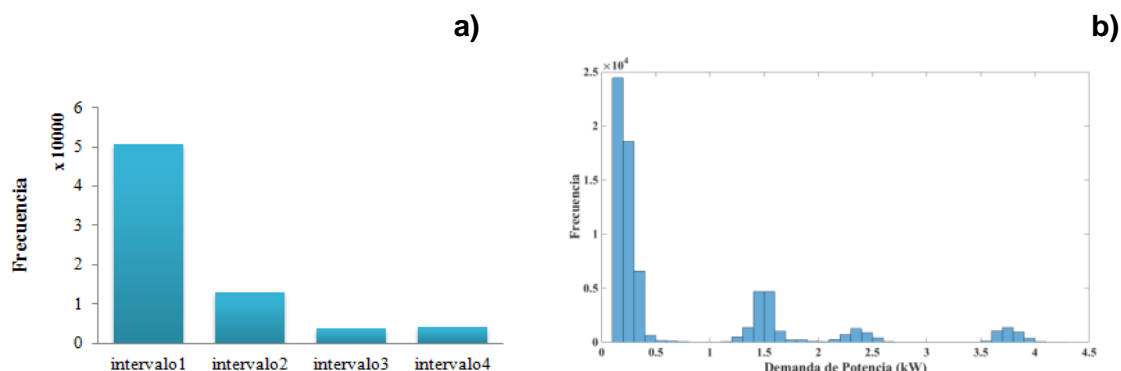


Figura 7. a) Distribución de la demanda de potencia; b) Discretización de la distribución de la demanda de potencia

Usando la discretización anteriormente mencionada, se ha aprendido un modelo para cada clasificador (NB, TAN y KDB2), para la obtención del modelo se han usado las variables que se listan en la Tabla 3, asimismo se ha usado 10-validación cruzada. A diferencia del modelo obtenido en Hernández *et al.* (2015), aquí se han considerado como entradas únicamente las variables temporales, climáticas y las consignas, no se han tenido en cuenta las variables correspondientes a los actuadores. Para la validación del modelo se ha usado el día 12 de enero de 2014.

La Tabla 3 muestra un resumen de los ratios de clasificación para la discretización utilizada, se puede observar que la mejor clasificación se obtiene utilizando el clasificador KDB2.

Tabla 3. Resumen de resultados

NB		TAN		KDB2	
Entrenamiento	Validación	Entrenamiento	Validación	Entrenamiento	Validación
66.7	59.7	83.6	59.2	88.8	67.5

Como ejemplo, la Figura 8 muestra cómo trabaja KDB2. En la parte superior se muestra la demanda de potencia del día 12 de enero de 2014 y en la parte inferior se muestra el resultado del clasificador KDB2. Este resultado es una primera aproximación de la obtención del modelo utilizando las variables que se listan en la Tabla 2. En trabajos futuros se pretende mejorar la efectividad del mismo realizando un rediseño del modelo mediante la inclusión de variables climáticas (temperatura interior, radiación global exterior) y usar más datos de entrenamiento que aporten mayor información.

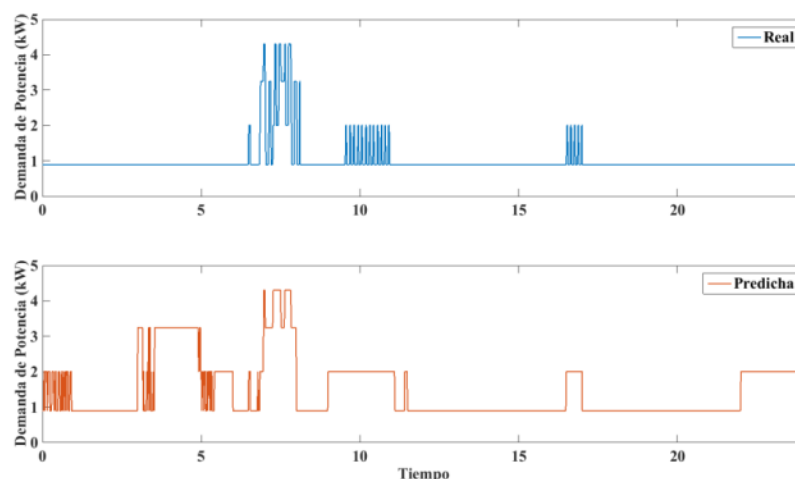


Figura 8. Demanda de potencia Real vs. Predicha por KDB2 en el día 12 de enero de 2014

Conclusiones

La importancia del desarrollo de modelos que permitan predecir la demanda energética está ligado a entre otras, la imposibilidad de almacenar grandes cantidades de dicha energía. Esto motiva la realización de modelos que permitan predecir la demanda energética del usuario final en tiempo real. En este trabajo se ha realizado un análisis de la demanda de potencia en un invernadero con el objeto de construir y evaluar modelos de clasificación basados en redes bayesianas: NB, TAN, y KDB, que permitan predecir la demanda energética del invernadero conocido el valor de determinadas variables climáticas, temporales y consignas de funcionamiento del sistema automatizado. Para llevar a cabo la construcción del modelo, en primer lugar se realizó un estudio de las variables que influían en el comportamiento de la demanda energética. El método utilizado en este trabajo puede usarse en invernaderos de cualquier área geográfica. En estudios futuros se pretende rediseñar el modelo para mejorar la efectividad del mismo, asimismo, este modelo será utilizado dentro de un sistema de control energético para obtener un funcionamiento automatizado que optimice la demanda de energía.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada dentro del proyecto “Controlcrop” P1O-TEP-6174 financiado por el Ministerio de Economía, Innovación y Ciencia de Andalucía, y el proyecto DPI2010-21589-C05-04 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

Bibliografía

- Baudoin, W., and Baeza, E. (2013). Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: principles for Mediterranean climate areas. FAO plant production and protection paper.
- Castilla, N., and Hernández, J. (2007). Greenhouse technological packages for high-quality crop production. *Acta Horticulturae* 761, 285-297.
- del Sagrado, J., Rodríguez, F., Berenguel, M., and Mena, R. (2014). Bayesian Networks for Greenhouse Temperature Control. In "International Joint Conference SOCO'13-CISIS'13-ICEUTE'13" (Á. Herrero, B. Baroque, F. Klett, A. Abraham, V. Snášel, A. C. P. L. F. de Carvalho, P. G. Bringas, I. Zelinka, H. Quintián and E. Corchado, eds.), Vol. 239, pp. 161-170. Springer International Publishing.
- Friedman, N., Geiger, D., and Goldszmidt, M. (1997). Bayesian network classifiers. *Machine learning* 29, 131-163.
- Giacomelli, G., Castilla, N., van Henten, E., Mears, D., and Sase, S. (2007). Innovation in greenhouse engineering. In "International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801", pp. 75-88.
- Handa, H., and Katai, O. (2003). Estimation of Bayesian network algorithm with GA searching for better network structure. In "Neural Networks and Signal Processing, 2003. Proceedings of the 2003 International Conference on", Vol. 1, pp. 436-439.
- Hernández, C., del Sagrado, J., Rodríguez, F., Moreno, J. C., and Sanchez, J. A. (2015). Modeling of energy demand of a High-Tech greenhouse in warm climate based on Bayesian networks. *Mathematical Problems in Engineering* 2015, 11.
- Hunt, M., von Kinsky, B., Venkatesh, S., and Petros, P. (2000). Bayesian networks and decision trees in the diagnosis of female urinary incontinence. In "Engineering in Medicine and Biology Society, 2000. Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE", Vol. 1, pp. 551-554.
- Lee, S. H., and Suh, I. H. (2009). Bayesian network-based behavior control for skilligent robots. In "Robotics and Automation, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on", pp. 2910-2916.
- Nielsen, T. D., and Jensen, F. V. (2009). Bayesian networks and decision graphs.
- Rodríguez, F., Berenguel, M., Guzmán, J. L., and Ramírez, A. (2015). Modelling and control for greenhouse crop growth.
- Sahami, M. (1996). Learning Limited Dependence Bayesian Classifiers. In "KDD", Vol. 96, pp. 335-338.
- Sánchez-Molina, J. A., Reinoso, J. V., Acién, F. G., Rodríguez, F., and López, J. C. (2014). Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses. *Biomass and Bioenergy* 67, 60-71.
- Sánchez, J. A., Rodríguez, F., Guzmán, J. L., and Arahál, M. R. (2012). Virtual Sensors for Designing Irrigation Controllers in Greenhouses. *Sensors* 12, 15244-15266.
- Tinoco-Martínez, S. R., Calderon, F., Lara-Alvarez, C., and Carranza-Madriral, J. (2014). Una Técnica Bayesiana y de Varianza Mínima para Segmentación del Lumen Arterial en Imágenes de Ultrasonido. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* 11, 337-347.
- Tüzel, Y., and Leonardi, C. (2009). Protected cultivation in Mediterranean region: trends and needs. *J Ege Univ Fac Agric* 46, 215-223.
- Von Zabeltitz, C. (2010). Integrated greenhouse systems for mild climates: climate conditions, design, construction, maintenance, climate control.
- Wang, M., and Zhou, J. (2014). A Bayesian network-based classifier for machining error prediction. In "Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2014 IEEE/ASME International Conference on", pp. 841-844.

E05 - Modelado de la irradiancia térmica atmosférica orientada al control climático en invernadero.

Cabrera, F.J.¹; Pérez-García, M.²; López, J.C.³; Baeza, E.J.⁴; Rodríguez, F.⁵

^{1,2,5}CIESOL Centro de Investigación en Energía Solar. Centro mixto UAL-CIEMAT. Universidad de Almería. Ctra. Sacramento, s/n, Almería E04120. Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3). fjcabrera@ual.es; ²Universidad de Almería. Dpto. de Química y Física. mperez@ual.es; ³Estación experimental Las Palmerillas de Cajamar Caja Rural. Tecnología de invernaderos. Paraje las palmerillas, 25, El Ejido E04710. juancarloslopez@fundacioncajamar.com; ⁴Unidad de Fisiología y Tecnología de Cultivos Protegidos. Centro IFAPA "La Mojonera". Camino San Nicolás, 1, La Mojonera E04745. estebanj.baeza@juntadeandalucia.es; ⁵Universidad de Almería. Dpto. de Informática. frrodrig@ual.es

Resumen

El diseño y uso de los sistemas de control climático en invernadero exige la disponibilidad de modelos completos y realistas de todos los procesos involucrados en los balances de masa y energía que se establecen entre el exterior y el interior del mismo. De entre ellos, el intercambio radiativo en la banda del infrarrojo térmico entre el suelo, la cubierta y las plantas con el ambiente nocturno se formula habitualmente a través de la asunción de un déficit térmico del cielo constante con relación a la temperatura en superficie o a través de modelos preestablecidos de emisividad atmosférica equivalente cuyas entradas son índices de contenido de vapor. Tanto la primera aproximación, por su naturaleza excesivamente simplista, como la segunda por tratarse de modelos no adaptados a condiciones locales, introducen incertidumbres en las valoraciones de carga energética en las que interviene este término. En este trabajo se propone una formulación local de la temperatura equivalente del cielo adaptable de forma inmediata a arquitecturas basadas en modelos de primeros principios orientadas al control climático en invernaderos. Para ello se justifica la necesidad de corrección de las aproximaciones previas en base a efectos locales relevantes, especialmente la altura de escala de vapor, y se formulan explícitamente los términos radiativos a considerar así como su estructura de entradas y salidas, y finalmente se valoran a efectos de carga global energética en modelos para el control climático de invernaderos. Se comparan diferentes modelos de irradiancia térmica atmosférica tradicionales con el modelo local propuesto y se evalúa su influencia en las necesidades energéticas de un invernadero, observando diferencias significativas entre los diferentes modelos analizados.

Palabras clave: energía, simulación, temperatura de cielo.

Modelling of atmospheric thermal irradiance oriented for greenhouse climate control

Abstract

The design and use of climate control systems in greenhouses requires the availability of comprehensive and realistic models of all the processes involved in the mass and energy balances established between outside and inside of the greenhouse. Among them the radiative exchange in the thermal infrared range wavelength between soil, plants, cover and the night sky is usually formulated through the assumption of a constant temperature deficit of the sky relative to the environment temperature, or through preset equivalent emissivity atmospheric models whose inputs are vapor content indices. The first approximation is overly simple and the second are models not adapted to local conditions. Both put uncertainty in assessments of energy load involved in this variable. In this work, a local formulation of the equivalent sky temperature is proposed that is immediately adaptable to other models based on first principles oriented for greenhouse climate control. For this purpose the need for correction of previous approaches based on relevant local effects is justified, especially vapor scale height, the radiative terms are explicitly formulated as well as the structure of inputs and outputs, and finally value the effects of

energy load models for climate control in greenhouses. Different traditional models of atmospheric thermal irradiance are compared with the proposed local model and the influence into the energy loads of a greenhouse evaluated, noting significant differences between the different models analyzed.

Keywords: energy, simulation, sky temperature.

Introducción

La irradiancia térmica atmosférica, provocada básicamente por la emisión en onda larga del vapor de agua contenido en las capas bajas de la troposfera, constituye una aportación relevante al balance de energía que se establece en esta banda espectral entre las superficies expuestas, hojas, suelo, cubiertas de invernaderos y el cielo. Dicho balance es especialmente relevante en ausencia de radiación de onda corta (solar-visible) y determina multitud de procesos físicos y micrometeorológicos (Pérez-García, 2004).

Para su caracterización es habitual utilizar la denominada temperatura equivalente de cielo, variable que permite aglutinar en un solo valor un fenómeno de naturaleza compleja que depende de a) la distribución en altura de la concentración de vapor de agua atmosférico, normalmente exponencial y caracterizada por un valor estándar de altura de escala, H_w , de 2 km y b) la distribución en altura de la propia temperatura del aire, que en condiciones normales en las capas bajas de la atmósfera, en situaciones de estabilidad, disminuye de forma lineal de acuerdo al gradiente adiabático $\gamma = -6,5 \text{ K km}^{-1}$ (Liou, 2002). La temperatura equivalente de cielo es normalmente inferior a la temperatura ambiente y a la temperatura de las superficies expuestas pudiéndose establecer entonces un balance de negativo desde dichas superficies hacia el propio cielo que actuaría así como sumidero térmico.

Para la estimación de la temperatura equivalente de cielo existen diversos procedimientos y expresiones que han venido desarrollándose tanto en el entorno de la meteorología como en el entorno de los cálculos aplicados a sistemas energéticos. Estas expresiones y procedimientos tienen en algunos casos naturaleza empírica y, en otros, naturaleza física (Olseth *et al.*, 1994) y proporcionan estimaciones globales aceptables para su uso en los programas de estimación de cargas de calefacción y refrigeración en invernaderos.

Sobre esta base, es posible, mediante la aplicación de ajustes adecuados a estas expresiones, mejorar la capacidad predictiva de las mismas para tener en cuenta fenómenos dinámicos de naturaleza local que quedan enmascarados por el carácter genérico de las propias expresiones aceptadas. Gracias a la disponibilidad de datos reales de irradiancia térmica atmosférica, y por tanto de temperatura equivalente de cielo, se han podido evaluar de forma concreta estos aspectos para una localización en sureste de España (Pérez-García, 2004).

El objetivo de este trabajo es destacar la importancia del uso de modelos locales de irradiancia térmica atmosférica y evaluar las diferencias que se producen, con el uso de distintos tipos de modelos locales y genéricos, en parámetros climáticos y en las necesidades energéticas de calefacción y refrigeración de un invernadero.

Material y métodos

Emisión e intercambio radiativo de radiación térmica

El hecho de que podamos considerar el cielo como un sumidero térmico proviene de la diferente distribución espectral de la radiación térmica incidente procedente de la atmósfera con relación a la emisión térmica de las superficies que intercambian calor por radiación con ella. La atmósfera presenta una emisión selectiva debida principalmente al comportamiento espectral del vapor de agua que hace que en el rango comprendido entre los 8 y los 13 μm , la denominada ventana atmosférica, se produzca un mínimo local en la aportación hacia las superficies expuestas por parte de la atmósfera (Figura 1a). En términos físicos se puede expresar esta circunstancia, a través de la ley de Stefan-Boltzmann, considerando que $\phi_{\downarrow sk}$ [Wm^{-2}] es la irradiancia térmica atmosférica existente y $\phi_{\downarrow o}$ [Wm^{-2}] la correspondiente a un emisor ideal a temperatura ambiente T_o [K].

$$\phi_{\downarrow sk} = \sigma T_{sk}^4 \leq \phi_o = \sigma T_o^4 \quad (1)$$

Donde, σ es la constante Stefan-Boltzmann $5,6697 \cdot 10^{-8}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$], y T_{sk} [K] es la temperatura de cielo.

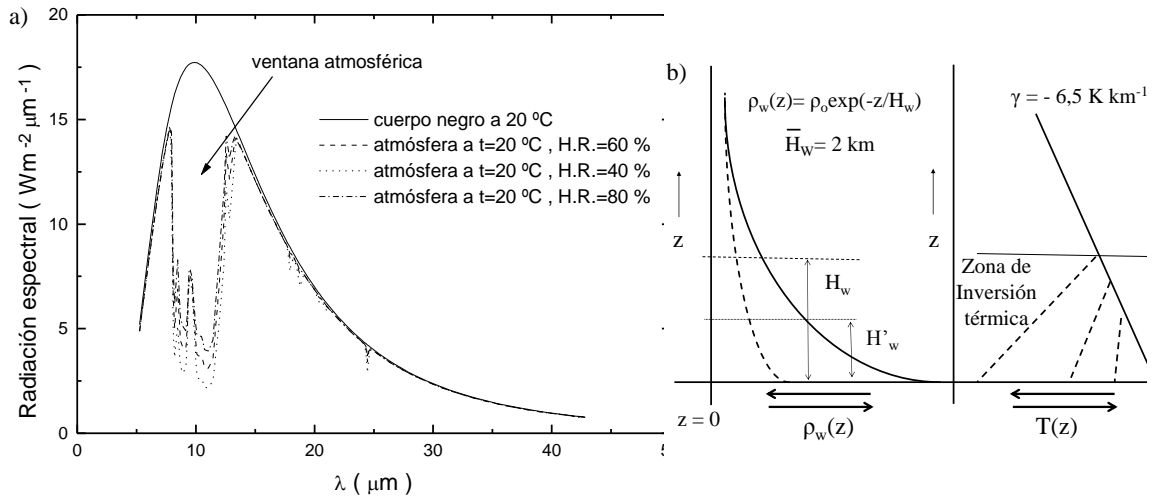


Figura 6. Diferencia de flujos radiativos entre un emisor ideal a 20°C y la atmósfera a la misma temperatura en distintas condiciones de humedad (a) y variaciones en los parámetros atmosféricos que condicionan el valor de ε_{sk} en cielos despejados (b) (Pérez-García, 2004).

Dado que el intercambio radiativo entre dos superficies 1 y 2, $Q_{R,\downarrow 1-2}$ [W], se debe estimar, despreciando la reflexión, como:

$$Q_{R,\downarrow 1-2} = A_1 F_{1-2} \sigma (\varepsilon_1 T_1^4 - \varepsilon_2 T_2^4) \quad (2)$$

Donde, F_{1-2} [-] es el factor de forma o configuración entre las dos superficies que varía de 0 a 1, A_1 [m²] es el área de intercambio, y ε [-] es la emisividad de las superficies (Howell *et al.*, 2010), puede resultar también conveniente reformular la irradiancia de la atmósfera en términos de emisividad.

$$\phi_{\downarrow sk} = \sigma T_{sk}^4 = \varepsilon_{sk} \sigma T_o^4 \quad (3)$$

De acuerdo a esta formulación, lógicamente el valor de la emisividad del cielo, ε_{sk} [-], será inferior a la unidad, acercándose a dicho valor conforme se vaya incrementando la cobertura nubosa cuyo efecto es, como se viene diciendo, el cierre de la denominada ventana atmosférica (**Figura 6a**).

En estas condiciones, lógicamente, el cálculo de temperatura de cielo, t_{sk} [°C] se haría a través de la Ecuación (4).

$$t_{sk} = \varepsilon_{sk}^{1/4}(t_o + 273,15) - 273,15 \quad (4)$$

Sobre esta base, el intercambio radiativo hacia el cielo suele caracterizarse a través de la denominada depresión equivalente de temperatura Δt (Ecuación 5).

$$\Delta t = t_o - t_{sk} \quad (5)$$

Un valor elevado en términos absolutos determina una mayor relevancia de este fenómeno. Es habitual considerar un valor promedio en el orden de -10°C para estimaciones globales. Lógicamente representa una simplificación excesiva ya que Δt puede variar, como veremos a continuación, en un amplio margen en función de diversos factores. En cualquier caso, junto con otras aproximaciones como el considerar la propia t_{sk} como constante, constituye la forma más inmediata de evaluar este fenómeno a efectos de cálculos posteriores.

Modelos de cálculo de la emisividad del cielo, ε_{sk}

Como se ha dicho, la estimación del término radiativo relacionado con el intercambio atmosférico de la Ecuación (3) exige el conocimiento de ε_{sk} . A tal efecto existen distintos modelos de cálculo, que parten de la situación de cielo despejado (Olseth *et al.*, 1994) que, por otro lado, es la situación que presentan mayor interés ya que las pérdidas hacia el cielo, y por lo tanto la incidencia en el balance, son realmente relevantes en este caso, y no en el de cielos cubiertos o parcialmente cubiertos.

Lo habitual en estos modelos es utilizar como variables de entrada un indicador de humedad como la tensión de vapor, e [hPa], y la temperatura ambiente, t_o [°C]. También resulta idónea la temperatura de punto de rocío, t_{dp} [°C], ya que integra ambas informaciones en una sola variable.

Sobre esta base, y dada la necesidad de incluir la naturaleza dinámica de estas variables y, a su vez, preservar la simplicidad de la formulación, en este trabajo utilizaremos como modelos genéricos de referencia un modelo tipo de regresión (Berdahl) y un modelo físico (Prata) (Berdahl y Fromberg, 1982; Berdahl y Martin, 1984; Martin y Berdahl, 1984; Prata, 1996).

El primero de los modelos tiene una naturaleza empírica y proviene de correlaciones entre datos experimentales en un conjunto representativo de climatologías. El segundo es un modelo físico, basado en simplificaciones de procesos radiativos elementales en gases atmosféricos. En ambos casos se considerará la situación de cielo despejado, indicada por el subíndice 0 en las expresiones.

De forma concreta, el modelo de Berdahl y Fromberg (1982) se formula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{0,sk} (día) &= 0,727 + 0,60 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right) \\ \varepsilon_{0,sk} (noche) &= 0,741 + 0,62 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right)\end{aligned}\quad (6)$$

A la emisividad del cielo despejado nocturno se le aplican las siguientes correcciones (Martin y Berdahl, 1984);

- Corrección horaria con el fin de mostrar diferencias en la transferencia de radiación entre el cielo nocturno y diurno, como se muestra en la siguiente ecuación, en el caso de utilizar solamente la ecuación para periodos nocturnos.

$$\varepsilon_{0,sk} = \varepsilon_{0,sk} (noche) + 0,013 \cos \left(2\pi \frac{MOD(nhora,24)}{24} \right) \quad (7)$$

Donde, $MOD(nhora,24)$ representa el módulo entre la división del número de hora, $nhora$, y 24.

- Corrección de la presión atmosférica, P_{atm} [hPa].

$$\varepsilon_{0,sk} = \varepsilon_{0,sk} + 0,00012(P_{atm} - 1000) \quad (8)$$

- Corrección de nubosidad, en la presencia de nubes se corrige multiplicando la emisividad del cielo despejado por la fracción del cielo que está cubierto por nubes, f_{nubes} [-] y teniendo en cuenta la emisividad de las nubes, ε_{nubes} [-], y el factor Γ [-] dependiente de la temperatura base de las nubes. La fracción de cielo cubierto por nubes opacas tiene un valor entre 0 (sin nubosidad) y 1 (cielo completamente cubierto). Esta corrección es aplicable a cualquier otro modelo de cielo despejado.

$$\varepsilon_{sk} = \varepsilon_{0,sk} + (1 - \varepsilon_{0,sk})f_{nubes}\varepsilon_{nubes}\Gamma \quad (9)$$

El modelo de Prata (1996) tiene la siguiente formulación, en la que e_o [hPa] es la presión de vapor.

$$\varepsilon_{0,sk} (noche) = 1 - \left[1 + 46,5 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right] \exp \left(- \left[1,2 + 139,5 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right]^{1/2} \right) \quad (10)$$

Esta expresión proviene de la una aproximación para el cálculo de la emisividad de la columna de vapor de agua sobre un emplazamiento determinado (Liou, 2002).

$$\varepsilon_0 = 1 - (1 + \xi) \exp \left(-(1,2 + 3,0\xi)^{1/2} \right) \quad (11)$$

Donde,

$$\xi = \left(\frac{M_a}{Rk\psi} \right) \left(\frac{e_o}{T_o} \right) \quad (12)$$

Siendo,

$$k = \frac{1}{H_w} + \frac{\gamma}{T_o} \quad (13)$$

Donde, γ [$K km^{-1}$] es el gradiente térmico troposférico, $-6,5 K km^{-1}$ y H_w [km] es la altura de escala del vapor de agua, que en la atmósfera de climas templados en latitudes intermedias tiene un valor promedio de 2 km.

$$\psi = 1 + \left(\frac{e_o}{P} \right) \frac{M_w}{M_a} \quad (14)$$

La sustitución en las expresiones anteriores de los valores típicos de los distintos parámetros propuestos conduce finalmente a

$$\xi = 46,5 \left(\frac{e_o}{T_o} \right) \quad (15)$$

Son precisamente las variaciones locales o dinámicas de estos parámetros las que condicionan la capacidad predictiva de estas fórmulas. Para el caso de γ , el gradiente térmico troposférico, las variabilidades se producen en capas muy cercanas al terreno (unos pocos cientos de metros) por efecto de la aparición de la inversión térmica nocturna. Para el caso de la altura de escala del vapor de agua, H_w pueden ser debidas a aportaciones de vapor sobre el terreno debidas fenómenos como las brisas marinas, como ocurre en zonas costeras, o procesos suplementarios de aportación o extracción de vapor troposférico a nivel local. La dinámica de estos efectos no es tan estricta como la que condiciona la inversión térmica, en la que la secuencia día-noche es claramente preponderante (**Figura 6b**).

Sobre esta base es posible generar modelos locales mediante ajustes de las expresiones anteriores a partir de la existencia de datos medidos de irradiancia térmica atmosférica. Este es el caso para un emplazamiento localizado en una zona costera en las proximidades de Almería, en el que se ha contado con una estación meteorológica que ha permitido un registro continuo de irradiancia y posterior cálculo de emisividad durante un periodo de 5 años (Pérez García, 1998; Pérez-García, 2004) Los ajustes de los modelos anteriores conducen a las siguientes expresiones:

Modelo empírico local:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,sk} (día) &= 0,700 + 0,38 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right) \\ \varepsilon_{0,sk} (noche) &= 0,731 + 0,41 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right) \end{aligned} \quad (Pérez-García, 2004)(16)$$

Modelo físico adaptado a condiciones locales:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{0,sk} (día) &= 1 - \left[1 + 21,2 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right] \exp \left(- \left[1,2 + 63,6 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right]^{1/2} \right) \\ \varepsilon_{0,sk} (noche) &= 1 - \left[1 + 33,8 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right] \exp \left(- \left[1,2 + 101,4 \left(\frac{e_o}{t_o + 273,15} \right) \right]^{1/2} \right) \end{aligned} \quad (Pérez-García, 2004)(17)$$

Aun tratándose de modelos de ajuste en ambos casos, esta formulación local permite establecer las dependencias básicas como la existencia de comportamientos diurnos y nocturnos diferenciados por efecto de la inversión térmica, en este entorno no

excesivamente marcada por su emplazamiento costero y, especialmente por el valor más bajo del coeficiente de la variable e_o/T_o del modelo de Prata (1996). Este valor menor está asociado a la existencia un valor de H_w inferior, esto es una mayor acumulación superficial de vapor de agua que hace que aunque nos encontremos con valores de humedades altas que llevarían también a emisividades altas, estas realmente tengan valores inferiores a lo esperado (y por lo tanto cielos más fríos).

Una vez conocidos estos modelos pueden ser utilizados para calcular el término correspondiente al balance en onda larga entre el cielo y un invernadero en el proceso de cálculo de cargas de climatización del mismo.

Balance de energía, necesidades de calefacción y refrigeración del invernadero

El balance de energía en un invernadero ha sido estudiado con anterioridad por Bot y Van de Braak (1995); Hanan (1998); Montero *et al.* (1998); Baille (1999); Day y Bailey (1999); von Zabeltitz (1999); Rodríguez (2002); Baille *et al.* (2006); González-Real y Baille (2010), entre otros.

El balance de energía en un invernadero se puede realizar considerando este como un captador solar (Boulard y Baille, 1987) o como un volumen de control (González-Real y Baille, 2010). El balance energético se basa en la ganancia, pérdida y almacenamiento de energía. El principio de conservación de la energía establece que la suma de los flujos energéticos que entran Q_{in} [W] y salen Q_{out} [W] de un elemento tienen que compensar la variación de energía almacenada en su interior dQ [W] por unidad de tiempo dt [s], teniendo en cuenta la energía producida Q_{prod} [W], Q también puede ser expresado en función de su capacidad térmica $C=dQ/dT$ [J °C⁻¹].

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dT}{dt} = \sum Q_{in} - \sum Q_{out} + Q_{prod} \quad (18)$$

La principal fuente de energía durante el día es la radiación solar y los sistemas de apoyo de calefacción, esta energía puede ser compensada con pérdidas mediante control climático para mantener las condiciones deseadas en el interior de invernadero (**Figura 7**). Durante la noche se produce principalmente intercambio de energía térmica del cultivo y elementos de invernadero con la atmósfera (**Figura 7**). Cuando se pierde energía la temperatura del aire en el invernadero disminuye y cuando se gana energía la temperatura aumenta.

Para el cálculo de las necesidades de calefacción y refrigeración, Q_h [W], se usará el siguiente balance de energía simplificado en estado estacionario, corregido con la fracción de radiación global interior que calienta el invernadero y no se usa en la transpiración, H_{sen} [W], el flujo energético del suelo, Q_s [W] y el intercambio radiativo con el cielo, $Q_{R,\downarrow m-sk}$ [W]:

$$Q_h = Q_{cc,i-o} + Q_{inf} + Q_v + Q_s + Q_{R,\downarrow m-sk} - H_{sen} \quad (16)$$

Donde, $Q_{cc,i-o}$ [W] son las pérdidas por conducción-convección; Q_{inf} [W] las pérdidas por infiltración; Q_v [W] las pérdidas por ventilación; $Q_{R,\downarrow m-sk}$ [W] es el intercambio radiativo entre masa (plantas y suelo) y el cielo; y H_{sen} [W] es la fracción de radiación global interior que calienta el invernadero y no se usa en la transpiración.

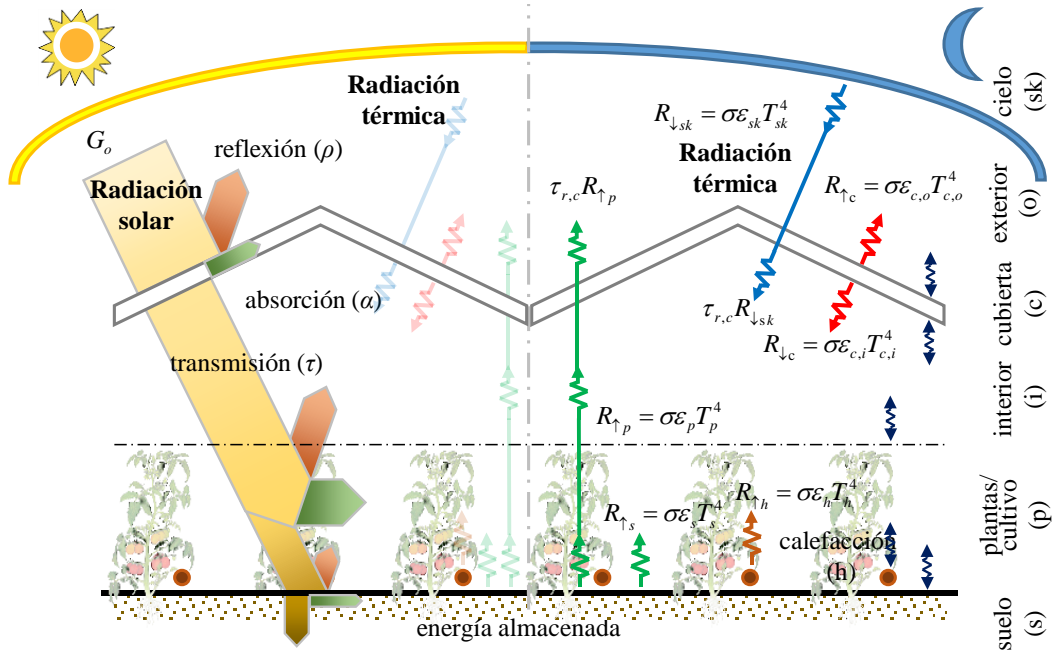


Figura 7. Flujos de radiación en el invernadero durante el día (izquierda) y la noche (derecha).

Para la estimación del efecto de la irradiancia térmica atmosférica en las necesidades energéticas del invernadero se ha considerado un invernadero tipo ojival de 1 ha con una relación área cubierta/área invernadero, $A_o/A_s=1,34$, con ventilación natural para mantener las siguientes consignas; humedad relativa interior $HR_i \leq 80\%$; temperatura de calefacción, $t_{i,hot}=12^\circ\text{C}$; y temperatura de refrigeración, $t_{i,cool}=27^\circ\text{C}$. Con un material de cubierta de plástico tricapa de 0,2 mm de espesor con características ópticas, térmicas, y tasa de infiltración según ASABE (2013). Con un cultivo de tomate con ciclo de 365 días (Sep. a Ago.) en Almería (sureste de España).

Los resultados se muestran como la suma de la diferencia entre las necesidades de calefacción ($Q_h > 0$), $\Delta Q_{cal.}$ [$\text{MJ m}^{-2} \text{año}^{-1}$], y de refrigeración ($Q_h < 0$), $\Delta Q_{ref.}$ [$\text{MJ m}^{-2} \text{año}^{-1}$], entre los resultados de las simulaciones con los modelos locales y modelos genéricos, de este modo se analiza el uso de los distintos modelos de t_{sk} . O como la diferencia entre flujos energéticos horarios $\Delta \phi_{cal.}$ [W m^{-2}] o $\Delta \phi_{ref.}$ [W m^{-2}].

$$\Delta Q_h = Q_h(\text{modelo local}) - Q_h(\text{modelo genérico}) \quad (20)$$

Resultados y Discusión

Comparación de modelos de cálculo de la temperatura de cielo equivalente, t_{sk}

La **Figura 8a** muestra la evolución anual de la temperatura ambiente y temperatura de rocío horarias, para el año climático analizado de Almería. En la **Figura 8b** se observa como la nubosidad horaria es muy variable (**Figura 8b**), siendo los periodos con cielo despejado ($f_{nubes} \leq 0,1$) los más frecuentes con $\approx 38\%$ (**Figura 8c**) frente a un $\approx 16\%$ de frecuencia de periodos con cielo muy cubierto ($f_{nubes} \geq 0,8$).

La **Figura 9** muestra la comparación entre la temperatura equivalente de cielo, t_{sk} , de los modelos genéricos y locales analizados en periodos totalmente despejados ($f_{nubes}=0$). En el caso de los modelos de regresión (**Figura 9a.1**) el modelo genérico (Berdahl y Fromberg, 1982) presenta una diferencia de temperaturas $\Delta t = -16,13 \pm 2,51^\circ\text{C}$ frente a un $\Delta t = -20,50 \pm 1,99^\circ\text{C}$ del modelo local. Para los modelos basados en principios físicos

(Figura 9b.1) el modelo genérico (Prata, 1996) presenta un $\Delta t = -16,15 \pm 2,63^\circ\text{C}$ frente a un $\Delta t = -20,57 \pm 2,01^\circ\text{C}$ del modelo local. Lo que supone que para una temperatura de cielo con el modelo genérico, $t_{sk}(\text{Genérico}) = 0^\circ\text{C}$, con el modelo local se obtiene una t_{sk} más baja, $-3,79^\circ\text{C}$ y $-3,83^\circ\text{C}$, para los modelos de tipo regresión y de tipo físico respectivamente (Figura 9a.2 y Figura 9b.2), aumentando esta diferencia cuando aumenta t_{sk} .

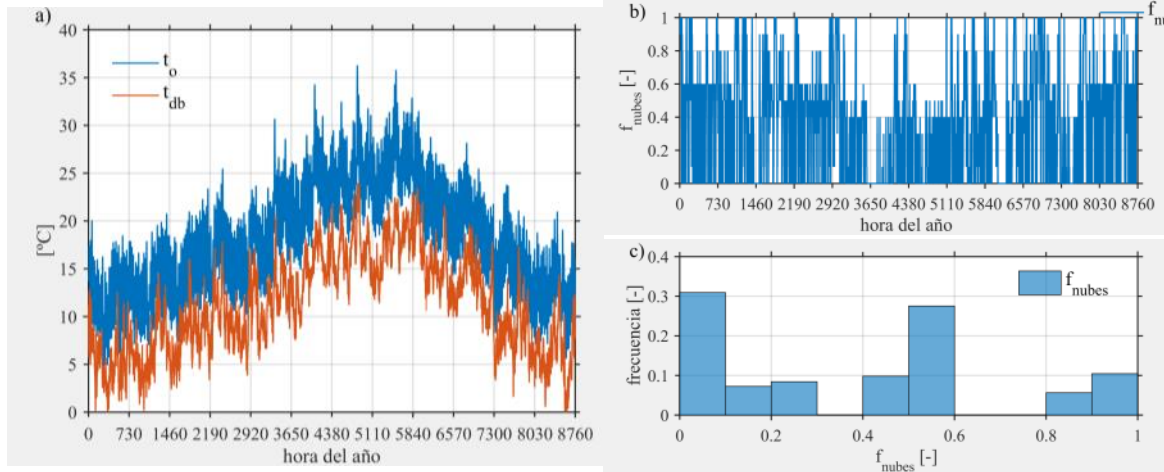


Figura 8. Evolución anual de la temperatura ambiente, t_o , y de rocío, t_{db} , (a) y nubosidad, f_{nubes} , (b), e histograma de frecuencias de la nubosidad (c), para Almería [datos Meteonorm v7].

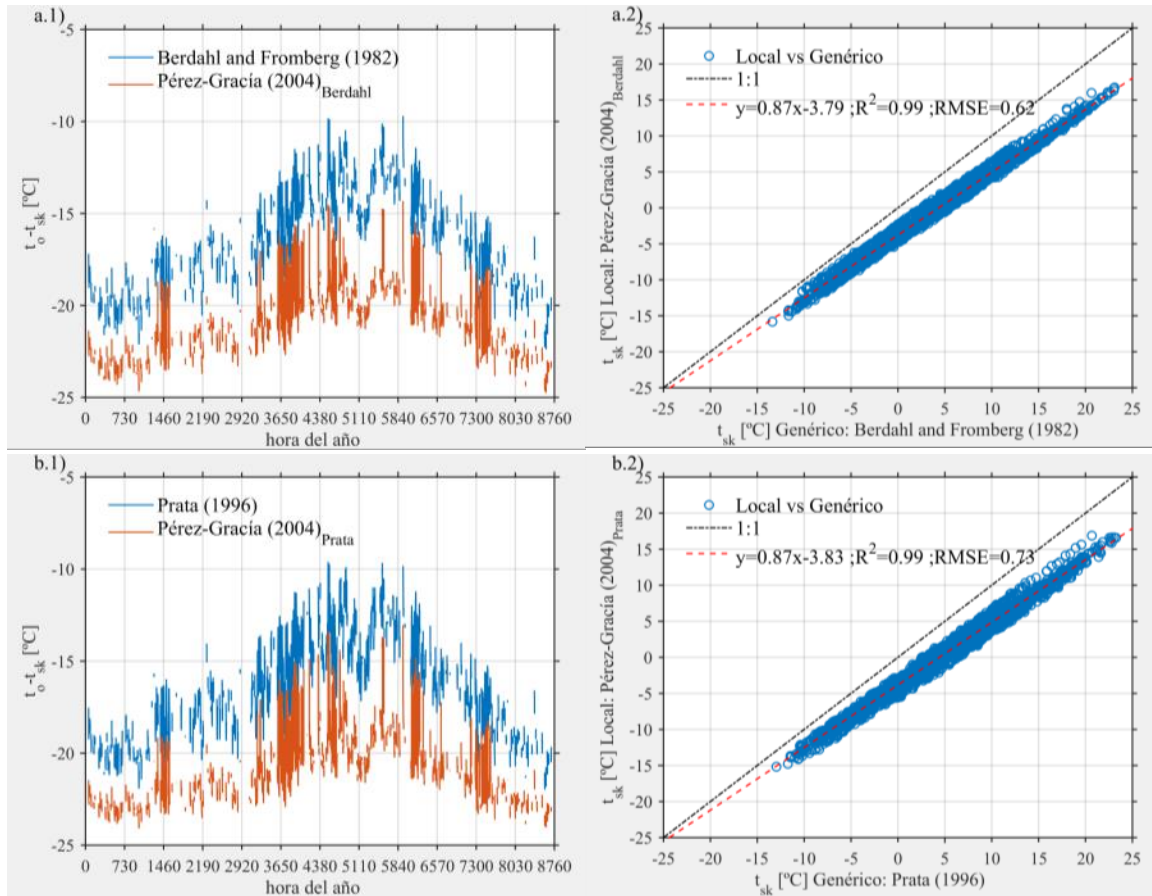


Figura 9. Evolución anual de la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura equivalente de cielo, $t_o - t_{sk}$, (a) y comparación de la temperatura equivalente de cielo, t_{sk} , (b) para los modelos genéricos y locales en periodos despejados [$f_{nubes} = 0$].

Efecto en las necesidades energéticas del invernadero

La diferencia acumulada de las necesidades anuales de calefacción, $\Sigma(\Delta Q_{cal.})$, del invernadero mediante el uso de los modelos locales serán de $17\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ superiores que con el uso de modelos genéricos, para los tipos de modelos de regresión (Berdahl) y físicos (Prata), respectivamente. Lo que era de suponer debido a la menor t_{sk} obtenida con los modelos locales, que hace que mayor cantidad de energía se transfiera del invernadero hacia la atmósfera.

La diferencia acumulada de las necesidades anuales de refrigeración, $\Sigma(\Delta Q_{ref.})$, anuales del invernadero considerando los modelos locales es de $-94\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y $-92\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ inferior que con los modelos genéricos, para los tipos de modelos de regresión y físicos, respectivamente. Esto es debido a que con los modelos locales al tener una menor t_{sk} el invernadero pierde mayor cantidad de energía, mediante intercambio radiativo con la atmósfera, y al no acumularse en el invernadero no es necesario eliminarla por otros medios.

Estas diferencias acumuladas se corresponden con las diferencias horarias de potencia que muestra la **Figura 10**, de hasta $\Delta\phi_{cal.}=10 \text{ W m}^{-2}$ y $\Delta\phi_{ref.}=-16 \text{ W m}^{-2}$, para calefacción y refrigeración respectivamente.

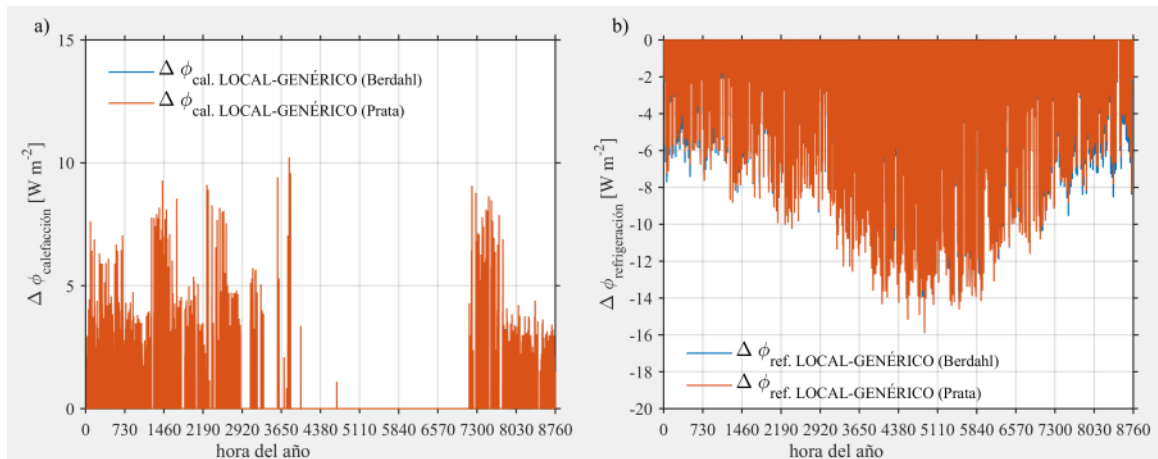


Figura 10. Diferencia acumulada en el flujo energético de calefacción (a) y refrigeración (b), por el uso de los modelos de irradiancia térmica atmosférica locales y genéricos analizados.

Conclusiones

El uso de modelos genéricos para la estimación de temperatura equivalente de cielo, en periodos despejados, conduce a estimaciones de la misma 4°C superiores a la realmente existente pudiendo considerarse el potencial de intercambio hacia el cielo en el emplazamiento analizado mayor del previsto por este tipo de modelos.

Con el uso de los modelos locales en la estimación de cargas térmicas de un invernadero mediterráneo tipo, se obtienen unas necesidades de calefacción, superiores $17\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ a las estimadas con modelos genéricos, para los tipos de modelos de regresión y físicos, respectivamente.

Mediante el uso de los modelos locales las necesidades de refrigeración, para invernaderos mediterráneos, son $-94\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y $-92\text{MJ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ inferiores que con los modelos genéricos, para los modelos de tipo regresión y físicos, respectivamente.

En términos de estimación de potencia, la diferencia horaria observada es de hasta $\Delta\varnothing_{cal.}=10 \text{ W m}^{-2}$ y $\Delta\varnothing_{ref.}=-16 \text{ W m}^{-2}$, para calefacción y refrigeración respectivamente

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo financiero del Ministerio Español de Ciencia e Innovación, y Economía y Competitividad, y de los fondos FEDER en el marco de los proyectos AGL2007-64143/AGR y RTA 2012-00039-C02-02.

Bibliografía

- ASABE, 2013. Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. ANSI/ASAE EP 406.4. Jan 2003 (R2008). In "ASABE Standards". American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), St. Joseph, MI, USA.
- Baille, A., 1999. Energy cycle. In "Ecosystems of the World 20, Greenhouse Ecosystems" (H. Z. Enoch and G. Stanhill, eds.), pp. 265-286. Elsevier, Amsterdam.
- Baille, A., López, J. C., Bonachela, S., González-Real, M. M., Montero, J. I., 2006. Night energy balance in a heated low-cost plastic greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology* 137, 107-118.
- Berdahl, P., Fromberg, R., 1982. The thermal radiance of clear skies. *Solar Energy* 29, 299-314.
- Berdahl, P., Martin, M., 1984. Emissivity of clear skies. *Solar Energy* 32, 663-664.
- Bot, G. P. A., Van de Braak, N. J., 1995. Physics of greenhouse climate. Energy balance. In "Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach" (J. C. Bakker, G. P. A. Bot, H. Challa and N. J. Van de Braak, eds.), pp. 135-141. Wageningen Pers, Wageningen.
- Boulard, T., Baille, A., 1987. Analysis of thermal performance of a greenhouse as a solar collector. *Energy in Agriculture* 6, 17-26.
- Day, W., Bailey, B. J., 1999. Physical principles of microclimate modification. In "Ecosystems of the World 20. Greenhouse Ecosystems" (G. Stanhill and H. Z. Enoch, eds.), pp. 71-99. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- González-Real, M. M., Baille, A., 2010. "Tecnología de invernaderos," Universidad Politécnica de Cartagena.
- Hanan, J. J., 1998. "Greenhouses : advanced technology for protected horticulture," CRC Press, Boca Raton.
- Howell, J. R., Siegel, R., Mengüç, M. P., 2010. "Thermal Radiation Heat Transfer," 5th ed/Ed. Taylor and Francis/CRC, New York.
- Liou, K. N., 2002. "An Introduction to Atmospheric Radiation," Academic Press.
- Martin, M., Berdahl, P., 1984. Characteristics of infrared sky radiation in the United States. *Solar Energy* 33, 321-336.
- Montero, J. I., Antón, A., Muñoz, P., 1998. Fundamentos. In "Tecnología de invernaderos" (J. Pérez-Parra and I. Cuadrado, eds.), pp. 253-266. Consejería de agricultura y pesca. FIAPA. Caja Rural de Almería, Almería.
- Olseth, J. A., Skartveit, A., Czeplak, G., Rommel, M., 1994. "Review and Test of Parameterizations of Atmospheric Radiation: A Technical Report of Task 17 ; Measuring and Modelling Spectral Radiation Affecting Solar Systems and Building." Det norske meteorologiske institutt.
- Pérez-García, M., 2004. Simplified modelling of the nocturnal clear sky atmospheric radiation for environmental applications. *Ecological Modelling* 180, 395-406.
- Pérez García, M., 1998. Medida, caracterización y modelización de la irradiancia térmica atmosférica. Ph.D., Universidad de Granada.
- Prata, A. J., 1996. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 122, 1127-1151.

- Rodríguez, F., 2002. Modelling and hierarchical control of greenhouse crop production. Ph.D., Universidad de Almería.
- von Zabeltitz, C., 1999. Greenhouse structures. In "Ecosystems of the World 20. Greenhouse Ecosystems" (G. Stanhill and H. Z. Enoch, eds.), pp. 17-69. Elsevier Science B.V., Amsterdam.

E06 - Influencia de la textura del suelo sobre el dimensionado de sistemas de riego fotovoltaico.

García, I.¹; Pérez, B.¹, Torres, J. L.¹, Royo, A.¹

¹ Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, Edificio Los Olivos, 31006, Pamplona. Email: ignacio.garcia@unavarra.es

Resumen

El empleo de sistemas de riego localizado de alta frecuencia requiere considerables cantidades de energía que, en explotaciones aisladas, no puede ser obtenida de la red eléctrica. Últimamente, se ha extendido el uso de la tecnología fotovoltaica para la alimentación de estos sistemas. Aunque habitualmente los periodos de mayor demanda energética de riego coinciden con los de mayor oferta solar, el carácter estacional de esta demanda provoca que una parte del año la energía fotogenerada no pueda ser utilizada. De modo que el aprovechamiento de esta energía requeriría un almacenamiento estacional y distinto de aquél que tiene por objeto cubrir la demanda ante fluctuaciones diarias de radiación. Entre las alternativas de acumulación existentes, el suelo se revela como una solución potencial dada su capacidad de retención de agua (CRA). Esto se traduce en una significativa capacidad de acumulación energética en contraposición a otros almacenamientos convencionales como el que se realiza en baterías que presenta distintos inconvenientes a la hora de acumular energía estacionalmente. Por esta razón, el empleo del suelo como acumulador principal permite extender la campaña de riego maximizando el periodo de captación de energía. Así disminuye sensiblemente la potencia fotovoltaica a instalar ya que se consigue un mejor aprovechamiento del recurso solar, como propugna el Programa Marco Horizonte 2020 de la UE. Considerando la fuerte dependencia entre la CRA de un suelo y su textura, en este trabajo se ha analizado la sensibilidad de la potencia fotovoltaica del sistema a la textura evidenciándose que un suelo arenoso conlleva un aumento del 17% de la potencia instalada frente a la necesaria en uno franco. Asimismo, se ha estudiado la influencia que tiene sobre la potencia fotovoltaica el uso combinado del suelo y baterías demostrándose que la utilización de baterías permite reducir la potencia a instalar hasta en un 25%.

Palabras clave: bombeo FV, energía solar, acumulación.

Influence of soil texture on the sizing of photovoltaic irrigation systems.

Abstract

The use of high frequency drip irrigation systems requires substantial amounts of energy that cannot be obtained from the electrical grid at isolated farms. Lately, the use of photovoltaic technology has been extended for powering these systems. Although, usually, the periods of highest energy demand match with those in which the solar offer is bigger, the seasonal nature of this demand causes that the photo-generated energy cannot be used in a portion of the year. So, harnessing this energy would require a seasonal storage different from that intended to meet the load demand against daily radiation fluctuations. Among the existing alternatives for energy accumulation, the soil is revealed as a potential solution given its water holding capacity (WHC). This fact results in a significant energy accumulation capacity contrasted with conventional storage performed in batteries, which has numerous disadvantages when seasonal energy storage is needed. For this reason the use of the soil as the main accumulator allows to extend the irrigation campaign, maximising the period of energy collection. This significantly reduces the photovoltaic power installed since a better use of solar resources is achieved, as encouraged by the EU Framework Programme Horizon 2020. Taking into account the strong dependence between the soil WHC and its texture, in this paper the sensitivity of the photovoltaic system power to texture has been analysed, concluding that a sandy soil carries an increase of 17% in photovoltaic power compared to that required in a loamy one. Also, the influence of the combined

use of soil and batteries on the photovoltaic power has been studied. It has been shown that the use of batteries permits a reduction of the photovoltaic power up to 25%.

Keywords: PV pumping, solar energy, accumulation.

Introducción

En los últimos años, el empleo de la energía solar fotovoltaica (en adelante, FV) se ha extendido como una solución ampliamente utilizada para la alimentación de sistemas de riego localizado de alta frecuencia en áreas sin acceso a la red eléctrica convencional. En general, la estrategia de dimensionado aplicada a estos sistemas se centra en cubrir las exigencias hídricas del mes más desfavorable, esto es, aquél en el que la relación entre la demanda y la oferta energética es mayor. Las instalaciones de riego localizado así concebidas concentran su funcionamiento en los meses que dura la campaña de riego, permaneciendo el resto del año sin operar, por lo que, salvo que la energía fotogenerada se destine a otros consumos, se estará desaprovechando. De hecho, este tipo de diseño conlleva un sobredimensionado del subsistema de generación.

Por el contrario, el dimensionado siguiendo una estrategia de máxima captación de energía comporta una menor capacidad de captador y, en consecuencia, un menor coste. No obstante, el desacoplo que existe en muchas ocasiones entre la oferta y la demanda energética por parte de la instalación de riego hace necesaria la acumulación estacional de la energía generada. Los subsistemas de acumulación más habituales en las instalaciones de riego localizado con bombeo FV se basan en el almacenamiento de agua en un depósito elevado o en baterías electroquímicas.

Entre las diversas alternativas de acumulación existentes, el suelo se revela como una solución potencial dada su capacidad de retención de agua que se traduce en una significativa capacidad de acumulación energética. Por esta razón el empleo del suelo como acumulador principal permite extender la campaña de bombeo maximizando el periodo de captación de energía y, por consiguiente, disminuyendo sensiblemente la potencia FV a instalar. Asimismo, considerando la fuerte dependencia entre la capacidad de retención del agua (CRA) del suelo y su textura, se ha realizado un análisis de la influencia que existe entre las diferentes texturas de suelo sobre la potencia FV instalada. Además, se ha estudiado la influencia que tiene sobre la potencia el uso combinado del suelo y baterías.

En el presente trabajo se han comparado los resultados obtenidos tras la aplicación de dos metodologías de diseño de sistemas de riego FV. La primera de las metodologías consideradas, en adelante metodología 1, se ha venido usando hasta la actualidad en el dimensionado de sistemas de riego alimentados por energía solar FV. En ella se sigue una estrategia de diseño de acumulación teórica nula cuyo objetivo es equiparar la oferta energética a la demanda del sistema de bombeo en el mes más desfavorable de la campaña de riego. En esta metodología se emplean baterías electroquímicas para compensar las desviaciones entre la oferta solar y la demanda energética a corto plazo (horas o días).

La segunda metodología considerada, denominada metodología 2, se basa en la propuesta de García *et al.* (2011). En este caso se sigue un criterio de diseño de máxima captación de energía que persigue el máximo aprovechamiento del recurso solar anual. El suelo se convierte en el principal subsistema de acumulación de agua y, por lo tanto, de energía a largo plazo. A pesar de que en la propuesta inicial no se

contempla la utilización de baterías electroquímicas, en este estudio se han incorporado a la instalación con el mismo cometido que en la metodología 1. Con el objetivo de maximizar la captación de energía, en la metodología 2, se contempla el riego de un número variable de sectores de manera simultánea, permitiendo así adaptar el punto de funcionamiento de la instalación de bombeo FV a las variaciones de radiación solar disponible.

En definitiva, el objetivo general del presente trabajo es estudiar la influencia de la textura del suelo sobre el dimensionado de una instalación FV considerando las dos metodologías de dimensionado citadas.

Material

Las metodologías propuestas se han aplicado a un olivar (*Olea europea*) de 3,8 ha situado en la localidad de Calahorra (La Rioja), en el valle del Ebro, con un marco de plantación de 4x5 m (densidad de plantación de 500 olivos/ha). La parcela se ubica en las coordenadas UTM ETRS89 585028, 4681148, a una altitud de 339 msnm.

En este trabajo se han contemplado dos texturas de suelo, esto es, franca y arenosa. Considerando una profundidad radicular del olivo de 1 m, la capacidad de retención de agua disponible (CRAD) en el suelo franco asciende a 172,63 mm, mientras que en el suelo arenoso alcanza un valor de 82,67 mm. Tras considerar un nivel de agotamiento permisible (NAP) del 75 % (Pastor, 2005) la capacidad útil de retención de agua es de 129,47 mm para el suelo franco y 62,01 mm para el suelo arenoso.

Los datos climáticos empleados proceden de la estación agroclimática automática de Aldeanueva de Ebro situada a una distancia de 8 km de la parcela de estudio. Esta estación es propiedad del Gobierno de La Rioja y está gestionada por el Servicio de Información Agroclimática de La Rioja (SIAR). Se ha considerado una serie temporal de 17 años comprendida entre 1997 y 2013 que ha sido sometida a un tratamiento previo para determinar el año de referencia (TRY) según la norma UNE-EN ISO 15927-4 (AENOR, 2011). Esta norma describe un método para la construcción de un año de referencia de valores horarios de datos meteorológicos apropiados para la evaluación del comportamiento a largo plazo de sistemas solares de agua caliente, no obstante, su aplicabilidad a instalaciones FV ha sido demostrada por Torres *et al.* (2013) para Aldeanueva de Ebro y por García y Torres (2015) en siete ubicaciones de Estados Unidos.

La evapotranspiración de referencia (ET_0), determinada mediante el método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006), asciende a 1249,5 mm anuales. La evapotranspiración del cultivo (ET_c), calculada siguiendo el procedimiento propuesto por Orgaz *et al.* (2006) para la determinación del coeficiente de cultivo (K_c) del olivar, alcanza un valor total anual de 711,6 mm. La precipitación efectiva es de 405,3 mm. Tras realizar el balance hídrico anual, las necesidades hídricas totales de riego ascienden a 306,2 mm. En función del marco de plantación y las texturas del suelo consideradas se ha decidido la instalación de 4 l·h⁻¹ por olivo.

La instalación FV está integrada por tres subsistemas: el de generación de energía, el subsistema de acondicionamiento de energía y el de acumulación. En este trabajo el elemento básico del subsistema de generación es un módulo FV de 100 Wp con 18,95 V de tensión y 5,28 A de intensidad en el punto de máxima potencia en condiciones

estándar de medida. Los inversores utilizados para convertir en corriente alterna la corriente continua generada por los módulos FV y acumulada en las baterías, son de las marcas Studer Innotec e Ingecon Hybrid AC Link. Como subsistema de acumulación de energía se han empleado una serie de baterías de la marca Sonnenschein.

Para realizar cada una de las simulaciones de producción eléctrica del sistema se ha empleado el programa informático PVSOL. El fichero de datos de entrada al programa consta de un listado de 8760 valores horarios de temperatura y humedad relativa del aire, radiación global sobre el plano horizontal y velocidad de viento. Tras la definición de las características técnicas de la instalación y la simulación del fichero de datos meteorológicos, el programa devuelve 8760 valores horarios de producción eléctrica que son exportados para su análisis posterior.

Metodologías de diseño

Como se explica en la introducción, en este trabajo se ha comparado el comportamiento de dos metodologías de diseño de sistemas de riego FV: una basada en una estrategia de diseño de máxima captación de energía y otra con un criterio de acumulación teórica nula que, en este caso, tiene por objetivo cubrir las necesidades del mes más desfavorable (ver Tabla 1).

Tabla 1. Comparativa de las metodologías de diseño consideradas en el trabajo.

	METODOLOGÍA 1	METODOLOGÍA 2
Estrategia de diseño	Mes más desfavorable	Máxima captación de energía
Subsistema de acumulación a corto plazo	Batería	Batería
Subsistema de acumulación a largo plazo	-	Suelo
Periodo de bombeo	Coincide con la campaña de riego (marzo – septiembre)	Todo el año

Metodología 1

Una vez establecidas tanto las necesidades hídricas del cultivo como el número de emisores por árbol y su caudal nominal, el procedimiento de dimensionado del sistema comienza por la definición del tamaño de los sectores de riego en los que se subdivide la parcela. Éste está determinado por las necesidades hídricas del cultivo y el número de horas de riego que puede proporcionar la instalación de bombeo FV, en función de la disponibilidad de radiación solar. Un excesivo número de sectores de riego no permitiría cubrir las necesidades hídricas del cultivo ya que el número de horas de bombeo resultaría inferior al mínimo preciso para que la instalación aporte la cantidad de agua necesaria para alcanzar dichas necesidades. Por el contrario, un tamaño excesivo del sector provocaría un sobredimensionado de la instalación de bombeo FV y el desperdicio de la energía en aquellos momentos en los que la potencia proporcionada por los módulos es inferior a la mínima necesaria para el riego de un sector. Por lo tanto, es preciso alcanzar una solución de compromiso. En el trabajo que nos ocupa, se han establecido cinco sectores de riego en el caso de la metodología 1.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, en esta metodología el periodo de bombeo se ciñe a los meses que abarca la campaña de riego. Durante estos meses, las

necesidades netas anuales netas de riego se reparten proporcionalmente a la oferta energética solar, de tal manera que, en los meses en los que se recibe una mayor radiación, se bombeará más agua que en aquéllos en los que el recurso solar es más escaso. De esta forma todos los meses de la campaña son igualmente desfavorables, evitando así acrecentar el sobredimensionado de la instalación FV que implica la utilización de esta metodología.

A continuación se lleva a cabo un proceso de cálculo iterativo para obtener la solución de potencia FV instalada máxima, es decir, aquella que permita cubrir las necesidades hídricas del cultivo sin la necesidad de utilizar un sistema de acumulación de energía. En cada iteración, se establece una potencia FV y, tras definir las características técnicas de la instalación en PVSOL, se simula el TRY para conocer la producción eléctrica horaria que proporcionaría la instalación durante todo el año.

A partir de esta información se lleva a cabo una comprobación horaria de la posibilidad de bombeo, determinando así el número de horas disponibles de bombeo durante los meses que abarca la campaña de riego y, por lo tanto, el volumen de agua que el sistema es capaz de aportar al cultivo. En este caso, si en una hora determinada la potencia proporcionada por la instalación FV no es suficiente para el riego de un sector, no podrá ser utilizada ni acumulada para un uso posterior.

La solución quedará validada si permite cubrir las necesidades hídricas del cultivo sin que, en ningún caso, la reserva del suelo supere su límite superior ni se sitúe por debajo del límite inferior. De lo contrario, en las siguientes iteraciones, se irá incrementando paulatinamente la potencia FV instalada hasta llegar a la solución que cumpla con las condiciones establecidas.

Una vez obtenida la solución de dimensionado que cubre las necesidades hídricas del cultivo sin acumulación de energía, se lleva a cabo un nuevo proceso de dimensionado cuyo objetivo es la obtención de las distintas combinaciones de potencia FV instalada y capacidad de acumulación electroquímica que permitan cumplir con las necesidades hídricas.

En cada iteración se va disminuyendo la potencia del subsistema de generación y aumentando la capacidad del de acumulación electroquímica. En este caso, al contrario de lo que sucede en la primera solución obtenida que carece de subsistema de acumulación, si en una hora determinada la energía disponible no alcanza la mínima necesaria para el riego de un sector, se podrá acumular en las baterías para su uso posterior.

Para cada combinación de potencia FV instalada y capacidad del acumulador se comprueba, como en el caso anterior, si se cubren las necesidades hídricas del cultivo manteniendo la reserva del suelo dentro de los límites establecidos. De no ser así, se irá aumentando paulatinamente la capacidad de acumulación hasta cumplir con esta condición. Este procedimiento iterativo de dimensionado finaliza cuando, dada una determinada potencia del subsistema de generación, el aumento de la capacidad de acumulación no es suficiente para cubrir las exigencias hídricas del cultivo.

Metodología 2

La metodología 2 está basada en la propuesta de García *et al.* (2011) en la que se describe un procedimiento para el dimensionado de instalaciones de riego FV siguiendo

una estrategia de máxima captación de energía mediante el aprovechamiento de la capacidad de retención de agua del suelo para la acumulación estacional de energía en forma de agua. A pesar de que en este trabajo se avala la viabilidad técnica de este método de dimensionado para instalaciones de riego localizado con bombeo FV, los resultados no han sido validados mediante ensayos de campo hasta el momento.

Una de las principales diferencias entre esta metodología y la anterior reside en el periodo de funcionamiento de la instalación de bombeo FV. Mientras en la anterior este periodo se circunscribe a la campaña de riego, en esta metodología se propone su extensión a todos los meses del año. De esta forma se maximiza la captación de energía solar lo que, consecuentemente, supone un descenso de la potencia FV a instalar y del coste de la instalación.

Esto permite además que el tamaño de los sectores en que se subdivide la parcela a regar pueda ser menor ya que durante los meses transcurren entre la finalización de una campaña de riego y el inicio de la siguiente, el sistema de bombeo FV habrá ido aportando agua al suelo que quedará acumulada y a disposición del cultivo. De tal manera que, durante los meses de la campaña de riego, la instalación únicamente suministrará una parte de las necesidades hídricas mientras que el cultivo tomará el resto de la reserva del suelo.

En este trabajo, considerando la metodología 2, la parcela de estudio se ha dividido en 10 sectores, el doble que en el caso anterior. Asimismo, un menor tamaño de sector implica una menor potencia necesaria para su riego, lo que permite un mejor ajuste entre la oferta energética y la demanda, lo que supone un mayor aprovechamiento de la energía.

Otra característica de esta metodología, ya presentada en la Tabla 1, es la posibilidad de regar varios sectores de manera simultánea. Esta particularidad permite un mayor aprovechamiento instantáneo de la oferta energética solar. De esta forma, a medida que aumenta el nivel de radiación solar, se aumentará el número de sectores que están regando a la vez. Por ello, antes de comenzar el proceso iterativo que permite obtener las soluciones de dimensionado, es preciso determinar los rangos de potencia de entrada al sistema de bombeo correspondientes a cada combinación de sectores, desde un sector regando en solitario hasta los diez sectores regando en paralelo.

El proceso de dimensionado para la obtención de la potencia FV instalada que permite cubrir las necesidades hídricas del cultivo sin recurrir a la acumulación en baterías, es el mismo que se ha descrito en la metodología 1 considerando las particularidades descritas para la metodología 2. También se procede de igual manera a la hora de obtener las distintas soluciones que consideran la acumulación en baterías electroquímicas.

Resultados

Soluciones de dimensionado obtenidas

En la Tabla 2 se presentan las diferentes soluciones obtenidas considerando la metodología 1 para los dos tipos de suelo (arenoso y franco). Se puede apreciar que para las dos texturas de suelo contempladas hay tres soluciones con idéntica potencia instalada y capacidad nominal del acumulador electroquímico. Esto sugiere que en la

metodología 1 el tipo de suelo no tiene un efecto significativo en el dimensionado de la instalación FV.

Para un suelo franco, se puede apreciar que hay tres soluciones más respecto a un suelo arenoso. Estas tres soluciones tienen una potencia FV instalada inferior a la solución con menor potencia obtenida para un suelo arenoso, lo que, como se puede ver, obliga a incrementar la capacidad nominal de los acumuladores electroquímicos.

Tabla 2. Soluciones obtenidas con la metodología 1 para un suelo franco y arenoso.

Textura suelo	Potencia FV instalada (W)	Capacidad nominal batería (Ah)	Capacidad nominal batería (Wh)	Tensión batería (V)	Potencia inversor (W)	Tensión inversor (V)
Franco	1300	143,86	1726,32	12	2100	12
	1400	143,86	1726,32	12	2100	12
	1500	143,86	1726,32	12	2100	12
Franco	2000	61,08	732,96	12	2100	12
y	3600	3,69	177,12	48	2400	48
Arenoso	5400	-	-	-	5000	96

Para contabilizar esa disminución de la potencia instalada gracias al uso de acumuladores electroquímicos se ha comparado la solución con mayor potencia FV instalada que carece de batería electroquímica y la solución de menor potencia a la que se le añade el acumulador electroquímico de mayor capacidad. La instalación de un grupo de baterías de 143,86 Ah de capacidad nominal, permite una reducción de la potencia FV instalada del 76% para un suelo franco. En el caso de un suelo arenoso, la reducción de potencia alcanzada es del 63% mediante la instalación de un acumulador de 61.08 Ah.

Tabla 3. Soluciones obtenidas con la metodología 2 para un suelo franco y arenoso.

Textura suelo	Potencia FV instalada (W)	Capacidad nominal batería (Ah)	Capacidad nominal batería (Wh)	Tensión batería (V)	Potencia inversor (W)	Tensión inversor (V)
Franco	900	25,8	309,6	12	1000	12
	1000	7,38	177,12	24	1300	24
	1100	10,94	131,28	12	2100	12
	1200	-	-	-	2100	12
Arenoso	1100	18,29	219,48	12	2100	12
	1200	10,94	131,28	12	2100	12
	1300	3,69	44,28	12	2100	12
	1400	-	-	-	2100	12

En la Tabla 3 se muestran las diferentes soluciones obtenidas considerando la metodología 2 para los dos tipos de suelo de estudio.

De los resultados de la Tabla 3 se desprende que el rango de potencias FV instaladas obtenidas mediante la metodología 2 para ambos suelos, es menor que el calculado mediante la metodología 1. Este resultado es razonable teniendo en cuenta que el criterio de diseño de la metodología 2 es la máxima captación de energía lo que, consecuentemente, implica una reducción de la potencia FV instalada. Dicho de otra manera, la metodología 1 conlleva un sobredimensionado de la instalación.

En el caso de un suelo franco, al comparar la solución que carece de acumulador electroquímico obtenido en la metodología 1 (5400 Wp) con la de la metodología 2 (1400 Wp) se aprecia una reducción de la potencia instalada del 78%. En el caso de un suelo arenoso esta reducción es del 74%.

Por otra parte, al comparar la solución de mayor potencia FV instalada sin batería electroquímica con la solución de menor potencia a la que se le añade una batería electroquímica, la reducción de potencia alcanzada es de 25% para un suelo franco (1200 Wp frente a 900 Wp) y del 21% en el caso de un suelo arenoso (1400 Wp frente a 1100 Wp).

Los resultados descritos se ilustran en la Figura 1. En ella se representan las distintas soluciones capacidad-potencia FV obtenidas para ambas metodologías considerando un suelo franco y uno arenoso.

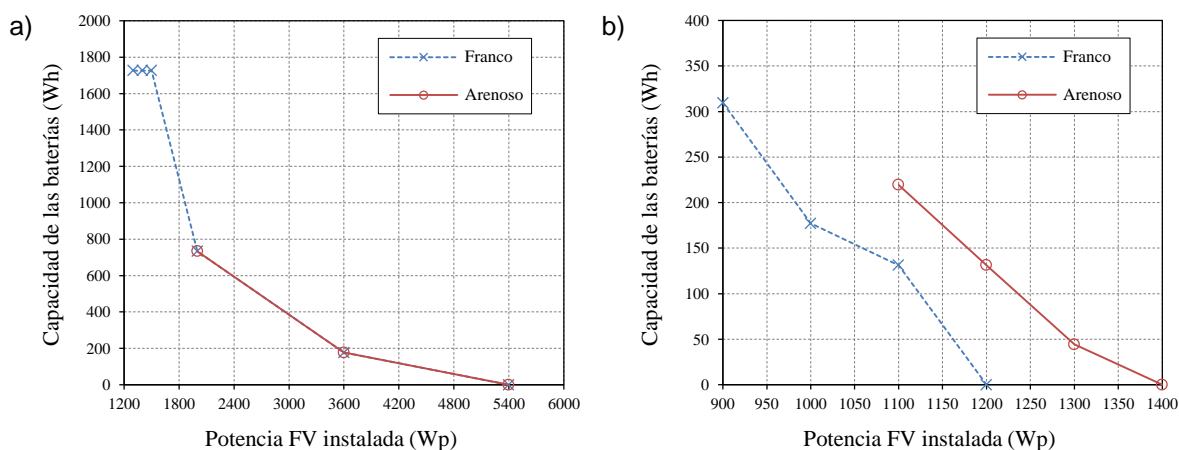


Figura 1. Gráficas capacidad-potencia de las soluciones obtenidas con la metodología 1(a) y la metodología 2 (b) para las diferentes texturas de suelo.

Estudio económico

Finalmente se ha estimado el coste actualizado neto (CAN) de la inversión correspondiente a cada solución obtenida considerando una vida útil (n) de la instalación FV de 25 años y una tasa de interés (i) del 8%. Los precios de los módulos FV, de las baterías electroquímicas y de los inversores se han obtenido de sus diferentes casas comerciales (Atersa, Sonnenschein y Studer Innotec e Ingeteam). Como inversión inicial (I_0) del proyecto se contempla la correspondiente al coste de los módulos, inversores y, en su caso, baterías.

Asimismo se ha considerado un coste anual de mantenimiento de 50€ durante toda la vida útil de la instalación. En las soluciones que contemplan la instalación de baterías electroquímicas se ha tenido en cuenta un coste por el recambio de las mismas cada 10 años, debido a que la vida útil de las baterías electroquímicas suele estar entorno a los

8-11 años. Por ello, se han establecido dos cambios de baterías en los 25 años de vida útil estimada de la instalación FV.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del estudio económico para las diferentes soluciones obtenidas mediante la metodología 1 para las dos texturas de suelo consideradas. En ella se puede apreciar que las tres soluciones obtenidas para un suelo arenoso necesitan la misma inversión económica que las tres soluciones obtenidas de mayor potencia FV para un suelo franco. Estos resultados revelan cómo la reducción de la potencia instalada en el caso de un suelo franco frente a uno arenoso, se traduce en una reducción del coste económico.

A la vista de los resultados obtenidos, las soluciones que combinan una menor potencia instalada con una mayor capacidad de acumulación en baterías presentan un menor CAN. Para cuantificar ese ahorro, se ha comparado, para las dos texturas, la solución con mayor potencia FV que carece de batería electroquímica y la solución de menor potencia a la que se le añade la batería de mayor capacidad. El ahorro obtenido es de un 57% para un suelo franco y del 49% en el caso de uno arenoso.

Tabla 4. Estudio económico de las soluciones obtenidas con la metodología 1 para un suelo franco y arenoso.

Textura suelo	Potencia FV instalada (W)	Coste módulo (€)	Coste inversor (€)	Coste batería (€)	n (años)	i (%)	I ₀ (€)	CAN (€)
Franco	1300	2.215,20	1.470,15	398,10	25	8	4.083,45	4.861,15
	1400	2.385,60	1.470,15	398,10	25	8	4.253,85	5.031,55
	1500	2.556,00	1.470,15	398,10	25	8	4.424,25	5.201,95
Franco	2000	3.408,00	1.470,15	197,20	25	8	5.075,35	5.729,94
y	3600	6.134,40	1.129,00	140,40	25	8	7.403,80	8.023,58
Arenoso	5400	9.201,60	1.599,00	0,00	25	8	10.800,60	11.334,34

En la Tabla 5 se presentan los resultados del estudio de costes de las soluciones obtenidas mediante la aplicación de la metodología 2 tanto para un suelo franco como para uno arenoso. En primer lugar, se puede apreciar que el coste de las soluciones obtenidas mediante la aplicación de la metodología 2 es sensiblemente inferior al de las obtenidas con la metodología 1 para ambos tipos de suelos. De hecho, desde el punto de vista del CAN de las soluciones que contemplan una mayor potencia FV instalada obtenidas mediante la metodología 2, se aprecia un ahorro del 64% del coste en el caso de un suelo franco y del 61% para el arenoso respecto a las obtenidas mediante la aplicación de la metodología 1.

Asimismo, los resultados obtenidos para la metodología 2 confirman el ahorro económico que ya se ha apreciado en la metodología 1 como consecuencia de la utilización de baterías. Como en el caso anterior, se han comparado, para ambos suelos, la solución con mayor potencia instalada que carece de batería electroquímica y la solución de menor potencia a la que se le añade una batería. El descenso del coste de la instalación en el caso de un suelo franco es del 26% y del 9% en uno arenoso.

Tabla 5. Estudio económico de las soluciones obtenidas con la metodología 2 para un suelo franco y arenoso.

Textura suelo	Potencia FV instalada (W)	Coste módulo (€)	Coste inversor (€)	Coste batería (€)	n (años)	i (%)	Io (€)	CAN (€)
Franco	900	1.533,60	739,95	106,80	25	8	2.380,35	2.979,54
	1000	1.704,00	739,95	70,20	25	8	2.514,15	3.090,91
	1100	1.874,40	1.470,15	74,50	25	8	3.419,05	3.998,44
	1200	2.044,80	1.470,15	0,00	25	8	3.514,95	4.048,69
Arenoso	1100	1.874,40	1.470,15	81,10	25	8	3.425,65	4.009,09
	1200	2.044,80	1.470,15	74,50	25	8	3.589,45	4.168,84
	1300	2.215,20	1.470,15	35,10	25	8	3.720,45	4.275,70
	1400	2.385,60	1.470,15	0,00	25	8	3.855,75	4.389,49

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que la utilización de una estrategia de máxima captación de energía con acumulación estacional de energía en el suelo (metodología 2) supone una sensible reducción de la potencia FV instalada respecto al dimensionado tradicional que sigue un criterio de acumulación teórica nula orientado a cubrir las necesidades energéticas del mes más desfavorable (metodología 1).

Asimismo, en el caso de la metodología 2, ha quedado demostrada la sensibilidad de la potencia FV instalada a la textura del suelo. En concreto, se ha comprobado que, debido a su menor CRA, un suelo arenoso conlleva un aumento del 17% de la potencia instalada con respecto a un suelo franco cuando no se emplea un sistema secundario de acumulación electroquímico. No obstante, como era de esperar, la potencia FV de las instalaciones dimensionadas mediante la metodología 1 muestra una dependencia nula de la textura del suelo.

Por otra parte, el uso combinado de las baterías electroquímicas como sistema de acumulación a corto plazo y del suelo para la acumulación de energía a largo plazo, supone una reducción de la potencia FV del subsistema de generación, y en consecuencia, una disminución del coste económico. El uso de ambos subsistemas de acumulación (suelo y baterías electroquímicas) permiten una reducción de potencia FV de hasta un 25% en suelos francos y del 21% en arenosos. Esto se traduce en una disminución del 26% del coste de la instalación en suelos francos y del 9% en arenosos.

Por lo tanto, a la vista de los resultados obtenidos, la metodología 2 es un procedimiento recomendable a la hora de dimensionar un sistema de riego localizado con bombeo FV, especialmente cuando se combina el almacenamiento de energía en el suelo con la acumulación en baterías electroquímicas.

Bibliografía

- AENOR, 2011. UNE-EN ISO 15927-4: Comportamiento higrotérmico de edificios: cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 4, Datos horarios para la evaluación de la energía anual utilizada en calefacción y refrigeración (ISO 15927-4:2005), AENOR.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 2006. Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drenaje 56, FAO, Roma.
- García, I, Torres, J.L, de Blas, M., García, A., 2011. Optimización del dimensionado de sistemas de riego por goteo alimentados por energía solar fotovoltaica. Actas del VI Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencia Hortícolas. Portugal.
- García, I, Torres, J.L, 2015, Assessment of the adequacy of EN ISO 15927-4 reference years for photovoltaic systems. Progress in Photovoltaics; Research and Applications. DOI: [10.1002/pip.2617](https://doi.org/10.1002/pip.2617)
- Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F. J., Fereres E., 2006. Water requirements of olive orchards—II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. Irrigation Science, Vol. 24, 77–84. DOI: [10.1007/s00271-005-0012-x](https://doi.org/10.1007/s00271-005-0012-x)
- Pastor, M., 2005. Cultivo del olivo con riego localizado: diseño y manejo del cultivo y las instalaciones, programación de riegos y fertirrigación. Junta de Andalucía y Mundi-Prensa, Madrid.
- Torres, J.L, de Blas, M., García, A, García, I., 2013. Evaluación de la aplicabilidad del año de referencia UNE-EN ISO 15927 a instalaciones fotovoltaicas. Actas del VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencia Hortícolas. Madrid.

E07 - Evaluación de metodologías para la generación de años de referencia para sistemas fotovoltaicos.

Ramírez de Alda, A.¹; García, I.¹, Royo, A.¹, Torres, J. L.¹

¹ Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, Edificio Los Olivos, 31006, Pamplona. Email: ignacio.garcia@unavarra.es

Resumen

Las considerables necesidades de energía eléctrica demandadas por distintas actividades agrícolas pueden satisfacerse mediante el aprovechamiento de la energía solar. Especialmente las de aquéllas que se desarrollan en lugares sin conexión a red. La predicción del comportamiento a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos requiere datos meteorológicos representativos del lugar. Entre las numerosas propuestas relacionadas con la energía solar, la mayoría incluyen procedimientos orientados a la generación de años de referencia (TRYs). El empleo de TRYs para simular el comportamiento de distintos tipos de sistemas de aprovechamiento de la energía solar reduce el coste computacional y simplifica el análisis de los resultados. Generalmente, estos años sintéticos están compuestos por la concatenación de doce meses reales de la serie de observaciones meteorológicas. Dichos meses, considerados típicos, son seleccionados mediante análisis estadístico de la serie de medidas meteorológicas promedio diarias o de producciones medias diarias de un sistema de aprovechamiento solar. Sin embargo, en este trabajo se han adaptado tres metodologías de selección de meses típicos para seleccionar días típicos a partir de valores promedio horarios. En concreto, se han modificado los procedimientos propuestos en la norma EN ISO 15927-4, el método de Festa-Ratto y el Año Meteorológico para Sistemas Solares (WYSS). Se han generado un total de once TRYs. El comportamiento de los distintos TRYs, compuestos por días típicos frente a los constituidos por meses típicos, ha sido evaluado mediante la comparación de la energía generada por cada TRY con la correspondiente a toda la serie histórica de datos a largo plazo.

Palabras clave: TRY, sistemas FV.

Evaluation of methodologies for generating test reference years for photovoltaic systems.

Abstract

The considerable needs for electricity demanded by different agricultural activities can be satisfied by harnessing the solar energy. Especially of those which are developed in off-grid sites. The long-term performance prediction of photovoltaic systems requires representative meteorological data from a particular location. Among the numerous proposals related to solar energy, most of them include procedures oriented towards the generation of test reference years (TRYs). Using TRYs to simulate the performance of different types of solar energy systems reduces the computational effort of the simulation and simplifies the analysis of the results. In general, these synthetic years are made up of the concatenation of twelve actual months of the time series of meteorological measurements. Such months, that are considered typical, are selected through a statistical analysis of average daily values of the meteorological data series or daily productions of a particular system for harnessing solar energy. However, in this work three methodologies for the selection of representative months have been adapted in order to select typical days from average hourly values. Specifically, the procedure proposed in the standard EN ISO 15927-4, the Festa-Ratto method and the Weather Year for Solar Systems (WYSS) have been modified. Therefore, a total of eleven TRYs have been generated. The performance of the various TRYs composed of typical days contrasted with those consisting of typical months has been evaluated by comparing the energy generated by each TRY to that obtained in the long term

Keywords: TRY, PV systems.

Introducción

La considerable demanda de energía eléctrica de las distintas actividades agrícolas puede satisfacerse mediante el aprovechamiento de la energía solar, especialmente las de aquéllas que se desarrollan en lugares sin conexión a red. La viabilidad de cualquier sistema solar depende de la capacidad de predecir el comportamiento del mismo a largo plazo, por lo que es necesario conocer datos meteorológicos representativos del emplazamiento. Para lograr este objetivo, se generan años de referencia (TRY, por sus siglas en inglés) con los que estimar de forma precisa la producción eléctrica del sistema. Un TRY proporciona parámetros meteorológicos para un periodo de un año y se considera representativo de las condiciones climáticas a largo plazo de una ubicación determinada. Entre otras ventajas, el empleo de TRYs a la hora de simular el comportamiento de los distintos sistemas reduce el coste computacional y simplifica el análisis de los resultados.

Existen numerosos procedimientos para la generación de años de referencia, que consideran diferentes variables según la aplicación y el emplazamiento. En la mayor parte de las propuestas, los TRYs están compuestos por una sucesión de doce meses típicos que pertenecen a diferentes años de la serie histórica de observaciones. Esto es, se genera un año de 8760 registros horarios mediante la concatenación de las variables horarias para cada mes seleccionado. Este es el caso del procedimiento para generar años meteorológicos típicos (TMY, por sus siglas en inglés) propuesto por Hall *et al.* (1978) conocido como método Sandia. Gazela y Mathioulakis (2001) propusieron un método para la obtención de años meteorológicos para sistemas solares (WYSS, por sus siglas en inglés) que utiliza como único parámetro de selección de los meses típicos la producción de un sistema solar. Otros procedimientos proponen ampliar las variables para la selección de los meses típicos, como es el método de Festa y Ratto (1993), surgido como una modificación del método Danés desarrollado por Andersen *et al.* (1977). También existen métodos que plantean asignar distinto peso a cada parámetro, como hizo Pissimanis *et al.* (1988) en la construcción de un TMY para la ciudad de Atenas. Por su parte, Argiriou *et al.* (1999) realizaron una comparación de algunos de estos métodos para esta misma ciudad. En 2005 la norma técnica europea EN ISO 15297-4 propuso un método para la generación de TRYs que fue transpuesta a la normativa española mediante la norma UNE-EN ISO 15927-4 (AENOR, 2011). En Torres *et al.* (2013) y García *et al.* (2015) se evalúa este método comparándolo con el método WYSS, verificando su aptitud a la hora de estimar la producción eléctrica de sistemas solares fotovoltaicos (FV). Sin embargo, no se encuentra en la literatura ningún TRY compuesto por días típicos en lugar de meses típicos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se han perseguido dos objetivos. El primero es evaluar la aptitud de dos TRYs basados en la selección de días típicos frente a los compuestos por meses típicos a la hora de predecir el comportamiento a largo plazo de sistemas solares FV. El segundo objetivo es evaluar el comportamiento de los TRYs, generados mediante distintas metodologías, empleando valores de producción eléctrica en lugar de variables meteorológicas para la selección de los días o meses típicos.

En este estudio se han utilizado tres metodologías, y se han modificado dos de ellas para seleccionar días típicos a partir de valores promedio horarios. Los tres

procedimientos elegidos son: el propuesto en la norma UNE-EN ISO 15927-4 (en adelante, método ISO), el método de Festa-Ratto y el método para la generación de WYSS descrito por Gazela y Mathioulakis (2001). De tal manera que se han generado un total de once TRYs. El primero se ha obtenido mediante la aplicación del método ISO original. Los ocho siguientes se han construido mediante el método Festa-Ratto. De estos ocho, cuatro de ellos se han generado a partir de variables meteorológicas y los cuatro restantes a partir de los valores de producción eléctrica de un sistema FV. Los dos últimos corresponden al método WYSS, uno compuesto por meses típicos y el otro por días típicos.

El comportamiento de los distintos TRYs compuestos por días típicos frente a los constituidos por meses típicos ha sido evaluado mediante la comparación de la energía eléctrica obtenida tras la simulación de cada TRY con la obtenida a largo plazo. Con este fin, se han comparado las producciones de energía eléctrica anuales, mensuales y diarias obtenidas mediante los diferentes TRYs generados mediante el empleo de seis indicadores estadísticos.

Datos meteorológicos

En este estudio, se ha empleado una serie de 16 años de observaciones meteorológicas procedente de la Estación Agroclimática Automatizada de Aldeanueva de Ebro (42.14° N, 1.53° O). Esta estación meteorológica pertenece al Gobierno de La Rioja y está gestionada por el Servicio de Información Agroclimática de La Rioja (SIAR). Sus datos son de acceso público y están validados según la norma UNE 500540 (AENOR, 2011). Las variables meteorológicas consideradas en este trabajo son los promedios horarios de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad de viento e irradiancia global sobre el plano horizontal.

A pesar de la validación llevada a cabo por el SIAR, los datos meteorológicos han sido sometidos a un control de calidad para depurar fundamentalmente los valores extremos. Debido a la ausencia de una gran cantidad de registros, el año 2000 ha sido eliminado por completo y no se ha tenido en cuenta en este estudio. Las discontinuidades puntuales existentes en el resto de años de la serie se han rellenado mediante interpolación lineal simple.

Metodología

Tal y como se ha expuesto en la introducción, uno de los objetivos de este estudio es el de evaluar el comportamiento de los distintos TRYs compuestos por días típicos frente a los constituidos por meses típicos para los distintos métodos mencionados, mediante la comparación de la energía generada por cada TRY con la obtenida a largo plazo. Además, se ha evaluado el uso de variables de producción energética en lugar de variables meteorológicas a la hora de seleccionar estos días o meses típicos.

Las simulaciones correspondientes se han realizado mediante el software PVSOL que proporciona, entre otros, los 8760 valores horarios de producción eléctrica, que genera un determinado sistema fotovoltaico, a partir de los registros horarios de cuatro variables meteorológicas: temperatura y humedad relativa del aire, irradiancia global y velocidad de viento.

Los tres métodos empleados en este estudio son el ISO, el Festa-Ratto y el WYSS. En la Figura 1 se sintetiza el procedimiento general seguido en este trabajo.

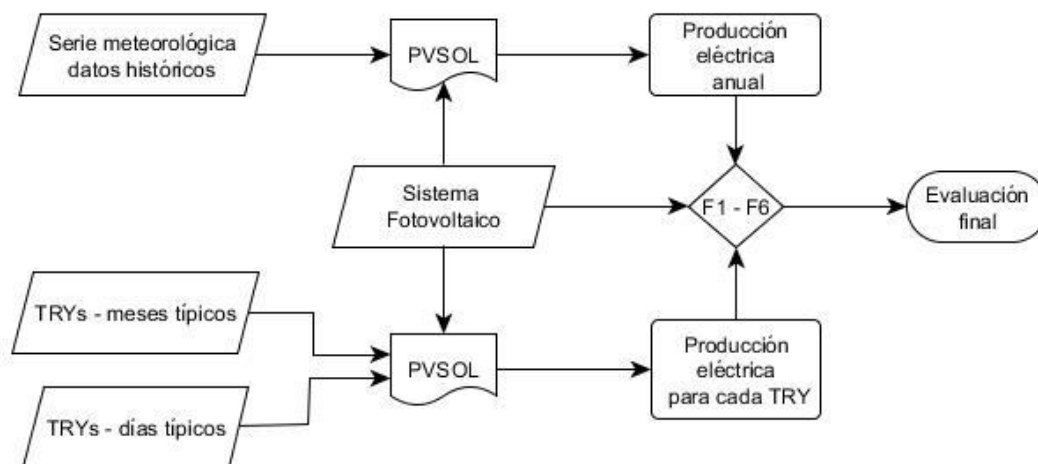


Figura 1. Procedimiento general del estudio.

Método WYSS (Gazela y Mathioulakis, 2001)

El método de obtención de WYSS propuesto por Gazela y Mathioulakis (2001) está orientado a la predicción del comportamiento a largo plazo de sistemas solares de agua caliente. Para ello, emplea la ganancia solar mensual del sistema como único parámetro de selección de los meses típicos. Teniendo en cuenta que el objetivo de este estudio es la evaluación de distintos TRYs para la estimación de la energía producida a largo plazo por un sistema FV, la ganancia solar ha sido sustituida por el valor de la producción eléctrica del sistema.

Se ha simulado cada uno de los años de la serie histórica de datos para cada sistema fotovoltaico propuesto obteniendo así la producción eléctrica mensual de cada año. Como meses típicos se consideran aquéllos cuya producción presenta la menor distancia al cuadrado de la producción media histórica de dicho mes.

Asimismo, en este trabajo se ha implementado una modificación del método WYSS original (WYSS_m) con el objetivo de realizar una selección de días típicos. En este caso se procede de igual manera que en el método original pero considerando producciones diarias en lugar de mensuales. Por consiguiente, el WYSS_d es el resultado de la unión de 365 días típicos.

Método UNE-EN ISO 15927-4 (AENOR, 2011)

El método descrito en la norma UNE-EN ISO 15927-4 está orientado a la construcción de años sintéticos para la estimación de cargas térmicas en la edificación, en concreto, a la predicción del comportamiento a largo plazo de sistemas solares de agua caliente. El procedimiento está diseñado para construir un año de valores horarios en el que el valor medio de las variables individuales, su distribución de frecuencia y las correlaciones entre las diferentes variables dentro de cada mes son las más cercanas posibles al correspondiente mes del conjunto de datos a largo plazo.

Si bien permite emplear distintos parámetros meteorológicos dependiendo de la aplicación del TRY, recomienda el uso de la temperatura del aire, la humedad relativa, la irradiancia global y la velocidad del viento. Las tres primeras variables son considerados

parámetros de selección principales. Sin embargo, la velocidad del viento se trata como un parámetro secundario que se emplea en la selección final del mes típico.

Método Festa – Ratto (Festa y Ratto, 1993)

El método propuesto por Festa y Ratto (1993) permite generar un año típico mediante el cálculo de una distancia que resulta de la combinación de dos factores de ponderación (α y β) y la distancia entre medias, la distancia entre las desviaciones estándar y el parámetro de Kolmogorov-Smirnov (Sprent, 1993) para cada variable a considerar. Se calcula para cada variable la media, la desviación estándar y la distribución acumulada a corto y largo plazo, para calcular posteriormente las distancias mencionadas. Se escoge el mes o día que corresponde a la distancia mínima de todas las calculadas, según se trate del TRY creado mediante días típicos (FR_d) o mediante meses típicos (FR_m). Este método permite el empleo de cualquier variable de interés, como pueden ser parámetros meteorológicos o resultados de cálculos. Así, en este estudio se han generado distintos TRYs utilizando como variables parámetros meteorológicos y valores de producción eléctrica del sistema fotovoltaico. Al igual que para el método ISO, los parámetros meteorológicos escogidos son la temperatura del aire, la irradiancia global sobre plano horizontal, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Como en el caso del método WYSS, el método Festa-Ratto se ha modificado con el objetivo de realizar una selección de días típicos. Mientras que en método original se emplean promedios diarios de las distintas variables consideradas, en esta modificación se utilizan valores promedio horarios para la selección de los días típicos.

Se han seleccionado dos valores distintos de los parámetros de ponderación α y β que establece el método. Estos parámetros se utilizan para asignar distinto peso a las diferentes distancias que se calculan en el mismo. El primer valor para las simulaciones corresponde a $\alpha = \beta = 0.1$, valor que aconsejan los mismos autores del método. El segundo valor corresponde a $\alpha = \beta = 0.25$, valor escogido con el fin de visualizar si existen diferencias significativas al variar estos parámetros.

Características de las instalaciones fotovoltaicas

Las producciones eléctricas empleadas tanto para la construcción de los distintos TRYs como para evaluar su bondad a la hora de estimar la energía eléctrica producida por un sistema FV a largo plazo, han sido obtenidas considerando dos instalaciones FV de 5.6 kWp de potencia con las mismas características técnicas que únicamente difieren en su sistema de seguimiento solar. De tal manera que la instalación denominada Sistema A permanece fija mientras que el Sistema B dispone de un sistema de seguimiento solar a dos ejes que permite que, en todo momento, el plano de captación sea perpendicular a la dirección de los rayos del sol, maximizando así la energía captada. Las características de estas instalaciones se muestran en la Tabla 1.

Resultados y discusión

En primer lugar, se ha obtenido mediante simulación, la producción eléctrica de cada uno de los dos sistemas descritos para cada año de los 16 que conforman la serie histórica. Estos resultados han sido tratados según los distintos procedimientos descritos en la sección anterior con el fin de generar los diferentes TRYs (ver Tabla 2).

Tabla 1. Características sistemas fotovoltaicos

	Sistema A	Sistema B
Potencia FV instalada (kWp)	5.6	5.6
Tipo de célula	Si monocristalino	Si monocristalino
Potencia de módulo (Wp)	100	100
Nº total de módulos	56	56
Nº de módulos en serie	14	14
Nº de módulos en paralelo	4	4
Sistema de seguimiento del sol	No	2 ejes
Azimet del captador (°S)	0	Variable
Inclinación del captador	Óptimo	Variable

Tabla 2. Resumen de años de referencia generados mediante la aplicación de los distintos métodos propuestos.

TRY	Método	Intervalo típico	Variables	Otros factores
TRY1	ISO	Mes	Ta, Gh, Vv, Hr*	-
TRY2	Festa-Ratto	Día	Ta, Gh, Vv, Hr	$\alpha = \beta = 0.1$
TRY3	Festa-Ratto	Mes	Ta, Gh, Vv, Hr	$\alpha = \beta = 0.1$
TRY4	Festa-Ratto	Día	Ta, Gh, Vv, Hr	$\alpha = \beta = 0.25$
TRY5	Festa-Ratto	Mes	Ta, Gh, Vv, Hr	$\alpha = \beta = 0.25$
TRY6	Festa-Ratto	Día	Producción eléctrica	$\alpha = \beta = 0.1$
TRY7	Festa-Ratto	Mes	Producción eléctrica	$\alpha = \beta = 0.1$
TRY8	Festa-Ratto	Día	Producción eléctrica	$\alpha = \beta = 0.25$
TRY9	Festa-Ratto	Mes	Producción eléctrica	$\alpha = \beta = 0.25$
TRY10	WYSS	Día	Producción eléctrica	-
TRY11	WYSS	Mes	Producción eléctrica	-

* Ta, temperatura del aire

Gh, irradiancia global sobre el plano horizontal

Vv, velocidad de viento

Hr, humedad relativa del aire

Los resultados de producción eléctrica anual, mensual y diaria obtenidos tras la simulación de cada TRY se han comparado con los valores de producciones correspondientes a cada uno de los 16 años de la serie mediante seis indicadores estadísticos (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , F_5 , F_6) propuestos por Gazela y. Mathioulakis (2001) y que se definen a continuación:

- F_1 corresponde al error cuadrático medio de la diferencia entre producciones anuales, y cuantifica la desviación entre cada uno de los años históricos y el TRY.
- F_2 y F_5 indican el error estándar de las estimaciones de producción mensual y diaria, respectivamente.
- F_3 es el test chi cuadrado de las producciones mensuales.

- F_4 y F_6 representan el error cuadrático medio de la producción media mensual y diaria, respectivamente, de la media histórica y la media correspondiente al TRY.

La Tabla 3 muestra los valores de estos indicadores para el Sistema A.

Tabla 3. Valores de los indicadores para cada TRY considerando el Sistema A.

TRY	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
TRY1	349.21	80.65	8.74	51.61	4.64	7.33
TRY2	396.02	73.47	5.98	40.37	4.63	5.41
TRY3	422.67	82.47	10.73	54.90	4.64	6.92
TRY4	420.38	72.51	6.32	37.73	4.63	5.42
TRY5	511.80	90.51	16.24	68.99	4.65	7.38
TRY6	342.22	64.86	1.34	20.49	4.64	3.17
TRY7	437.00	113.58	32.19	100.30	4.63	7.65
TRY8	353.64	65.70	1.62	23.64	4.64	3.42
TRY9	372.41	118.64	37.59	105.14	4.63	7.67
TRY10	346.32	62.97	0.53	13.80	4.64	2.03
TRY11	338.60	61.99	0.18	7.97	4.64	7.39

El año de referencia típico que conduce a un menor error en la predicción de la producción anual es el correspondiente al generado por el método WYSS_m con meses típicos (TRY11), tal y como muestra el indicador F_1 . Desde un punto de vista global y atendiendo a la predicción de producción eléctrica mensual, valorada por los parámetros F_2 , F_3 y F_4 , este método también resulta ser el óptimo de todos los utilizados en este trabajo. Observando los valores del F_6 , que evalúa el error de la predicción diaria, resulta que es de nuevo el método WYSS_d el que minimiza el error cometido, aunque generando el TRY con días típicos en lugar de meses típicos.

Dentro los TRYs generados mediante variables meteorológicas y meses típicos (TRY1, TRY3, TRY5), y en términos de estimación de la producción anual y mensual, el generado mediante el método ISO (TRY1) resulta ser el más fiable, tal y como indican los valores de F_1 , F_2 , F_3 y F_4 . Sin embargo, el menor error en estimación diaria lo presenta el TRY3, correspondiente al generado mediante el método FR_d. Por otra parte, los TRYs creados utilizando también variables meteorológicas pero con días típicos (TRY2, TRY4), reflejan un mejor comportamiento en predicciones diarias y mensuales que los TRYs generados con meses típicos. El indicador F_1 muestra que el método ISO resulta ser más preciso a la hora de estimar la producción anual utilizando variables meteorológicas que el método Festa-Ratto.

Si se comparan los TRYs generados mediante valores de producción eléctrica y meses típicos (TRY7, TRY9, TRY11), el método WYSS_m realiza predicciones de producción considerablemente más precisas a nivel anual y mensual que el método FR_m. No obstante, ambos métodos presentan valores del indicador F_6 muy similares. Analizando los TRYs constituidos también con variables de producción eléctrica pero con días típicos (TRY6, TRY8, TRY10), se observa que no existen grandes diferencias entre los valores de cualquiera de los indicadores, si bien el método WYSS_d presenta un comportamiento ligeramente mejor que el FR_d.

Realizando una comparación exclusiva de los TRYs generados mediante el método Festa-Ratto, se observa que utilizar la producción eléctrica como variable para generar

estos años en lugar de utilizar variables meteorológicas, sólo resulta en una mejora de los resultados si estos años son generados a su vez con días típicos en vez de meses típicos. Cabe destacar también dentro de los resultados del método Festa-Ratto, que aquellos realizados con los factores de ponderación $\alpha = \beta = 0.1$ presentan unas mejores predicciones de la producción respecto a los realizados con el valor 0.25.

Por su parte, los valores de los indicadores que corresponden a los TRYs generados mediante el método WYSS (TRY10, TRY11) muestran que constituir los años mediante días típicos no resulta en una mejora de la predicción de la producción eléctrica anual y mensual, al contrario de lo que sucede con el método Festa-Ratto. Sin embargo, sí minimiza el error en términos de estimación diaria de la producción, tal y como indica el valor del parámetro F_6 .

La Tabla 4 presenta los valores de los indicadores estadísticos correspondientes al Sistema B. Analizando esta tabla se observan resultados similares a los obtenidos para el sistema A. La única diferencia reside en que desde el punto de vista de la predicción de la producción eléctrica anual, el método más preciso resulta ser el FR_d , seguido del método ISO, en lugar de serlo el método $WYSS_m$.

Tabla 4. Valores de los indicadores para cada TRY considerando el Sistema B

TRY	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
TRY1	451.17	113.34	8.71	71.96	5.44	10.89
TRY2	583.06	106.19	6.89	60.72	5.43	7.71
TRY3	549.08	116.16	10.86	75.65	5.44	10.09
TRY4	625.08	107.43	8.22	61.66	5.43	7.79
TRY5	743.10	130.42	17.00	107.22	5.45	10.96
TRY6	450.58	89.21	0.51	17.33	5.44	4.24
TRY7	613.32	150.02	26.71	130.81	5.44	11.04
TRY8	466.86	92.81	1.53	31.02	5.44	4.40
TRY9	581.89	189.23	46.97	170.59	5.43	11.46
TRY10	457.14	89.03	0.42	17.57	5.44	3.44
TRY11	452.53	88.03	0.16	10.78	5.44	10.87

Conclusiones

Observando las Tablas 3 y 4 y de acuerdo con los análisis realizados para el emplazamiento señalado, puede confirmarse que el método $WYSS_m$ es el que describe con mayor precisión el comportamiento de un sistema fotovoltaico a largo plazo, minimizando el error cometido en las predicciones de producción eléctrica tanto anuales, como mensuales y diarias.

La utilización de días típicos en lugar de meses típicos a la hora de generar TRYs resulta en una mejora significativa de la precisión en las predicciones de producción anuales, mensuales, y sobre todo diarias de un sistema.

Por otro lado, dentro del método Festa-Ratto, la utilización de los valores de producción eléctrica como parámetro para la construcción de TRYs resulta ser más precisa que usar variables meteorológicas sólo en el caso en el que se construya el TRY mediante la selección y unión de días típicos. Estos TRYs presentan valores de todos los

indicadores muy similares a los del método WYSS, por lo que también resulta una buena opción.

Por su parte, el método ISO presenta unos resultados buenos en indicadores diarios y anuales y similares a los del método WYSS, por lo que es recomendable para predicciones a largo plazo.

Las conclusiones expuestas son válidas tanto para sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar como para instalaciones fijas.

Bibliografía

- AENOR, 2011. UNE-EN ISO 15927-4: Comportamiento higrotérmico de edificios: cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 4, Datos horarios para la evaluación de la energía anual utilizada en calefacción y refrigeración ISO 15927-4:2005, AENOR.
- Andersen, B., Eidorff, S., Lund, H., Pedersen, E., Rosenorn, S., and Valbjorn, O., 1977. Meteorological data for design of building and installation: a reference year, (extract), 2nd/Ed. Thermal Insulation Laboratory, Denmark.
- Festa, R., and Ratto, C. F., 1993. Proposal of a numerical procedure to select Reference Years. Solar Energy 50, 9-17. DOI: 10.1016/0038-092X(93)90003-7
- García, I, Torres, J.L, 2015, Assessment of the adequacy of EN ISO 15927-4 reference years for photovoltaic systems. Progress in Photovoltaics; Research and Applications. DOI: 10.1002/pip.2617
- Gazela, M., and Mathioulakis, E., 2001. A new method for typical weather data selection to evaluate long-term performance of solar energy systems. Solar Energy 70, 339-348.. DOI: 10.1016/S0038-092X(00)00151-1
- Hall, I. J., Prairie, R. R., Anderson, H. E., and Boes, E. C., 1978. Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOL-MET stations, Sandia Laboratories Report SAND 78-1601, Albuquerque, NM.
- Lund, H., and Eidorff, S., 1980. Selection methods for production of Test Reference Years. App. by R. Dogniaux. Final report (short version). Report EUR 7306, 1.
- Pissimanis, D., Karras, G., Notaridou, V., and Gavra, K., 1988. The generation of a "typical meteorological year" for the city of Athens. Solar Energy 40, 405-411. DOI: 10.1016/0038-092X(88)90095-3
- Schweitzer, S., 1978. A possible "average" weather year on Israel's coastal plain for solar system simulations. Solar Energy 21, 511-515. DOI: 10.1016/0038-092X(78)90076-2.
- Sprent, P., 1993. Applied Non Parametric Statistical Methods. Champan and Hall, London, 2nd Edition.
- Torres, J, de Blas M., Gorostiaga A., García. I., 2013. Evaluación de la aplicabilidad del año de referencia UNE-EN ISO 15927 a instalaciones fotovoltaicas. Actas del VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas.

E08 - Estudio de algunos factores críticos relacionados con el consumo energético en la elección de módulos fotovoltaicos para su instalación en una explotación agraria específica.

Aguirre, A.J.¹, Cobos, L.E.², Malón, H.³, Boné, A.⁴, Vidal, M.⁵, García-Ramos, F.J.⁶

¹ Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza. Ctra. Cuarte s/n, 22071 Huesca. jaguirre@unizar.es

Resumen

La instalación de módulos fotovoltaicos en explotaciones agropecuarias, podría suministrar energía eléctrica para autoconsumo de una manera competitiva y esto ha despertado el interés de instaladores y promotores, además de formar parte de las medidas de ahorro y eficiencia energética impulsadas por el Gobierno español. Para una instalación ganadera con un consumo medio mensual cercano a los 2 MWh, localizada en la zona de tipo climático III en función de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal, se plantea un diseño factorial sin repeticiones con tres factores fijos: potencia eléctrica de los módulos (240, 295, 300 y 330 W), su inclinación (11,3 y 30 grados) y la tecnología del semiconductor (silicio mono- y policristalino). Simulando todas las combinaciones mediante PVsyst se estudian el número de módulos totales, la potencia total instalada, la potencia del inversor, la superficie ocupada, la energía producida y el rendimiento de la instalación. La inclinación resulta ser el factor crítico más relevante, mostrando un efecto significativo ($P \leq 0,001$) sobre el número de módulos necesarios, la potencia instalada, la superficie a ocupar por los módulos y la energía producida por el conjunto de la instalación. La potencia de los módulos es el segundo factor a tener en cuenta, de modo que a mayor potencia se reducen significativamente el número de módulos ($P < 0,001$) y la potencia instalada ($P = 0,004$). La naturaleza del semiconductor no reviste interés en cuanto a las variables estudiadas ($P > 0,05$). Por tanto, la combinación de una inclinación de 30° y una potencia del módulo fotovoltaico de 330 W resulta óptima para la zona climática de tipo III dentro de los valores propuestos para los factores considerados.

Palabras clave: potencia eléctrica, inclinación, tecnología cristalina, instalaciones agroforestales

Study of some critical factors related to the energy consumption in the election of photovoltaic modules in a specific farm

Abstract

The installation of photovoltaic modules on farms, could supply electricity for consumption in a competitive manner and this has attracted interest from installers and developers, as well as forming part of the measures of energy saving and efficiency driven by the Spanish Government. For a livestock facility with an average monthly consumption close to 2 MWh, located in the area of climate type III according to the global average daily solar radiation on a horizontal surface, arises unreplicated factorial design with three fixed factors: power modules (240, 295, 300 and 330 W), inclination (11.3 and 30 degrees) and technology of semiconductor (silicon mono- and polycrystalline). Simulating all combinations PVsyst by the total number of modules, the total installed capacity, power inverter, the area occupied, the energy produced and performance of the system are studied. The inclination happens to be the most relevant critical factor, showing a significant ($P \leq 0.001$) on the number of modules required, the installed power, the surface occupied by the modules and the energy produced by the entire system. The power module is the second factor to consider, so more power to significantly reduce the number of modules ($P < 0.001$) and installed power ($P = 0.004$). The nature of the semiconductor is not of interest in terms of the variables studied ($P > 0.05$). Therefore, the combination of an inclination of 30° and a power of 330 W photovoltaic module is optimal for the type III climate zone within the proposed values for the considered factors.

Keywords: electric power, inclination, crystal technology, agroforestry installations

Introducción

En el año 2010 en España había cerca de un millón de explotaciones agrarias, de las cuales 685.000 correspondían a explotaciones ganaderas y el resto estaba formado por diversas actividades incluidas los invernaderos. En líneas generales se puede indicar que su consumo energético comprende el uso de generadores de calor y frío para procesos de pasteurización y conservación, la climatización de naves de ganado e invernaderos, la iluminación de naves y aledaños, la utilización de motores para accionamientos mecánicos y otros servicios propios de estas actividades. De este modo, sin contemplar el consumo relativo a la vivienda rural ni el relativo a la maquinaria autopropulsada, se estima para las explotaciones agrarias un consumo de 640 ktep en 2010 (Gasóleo y fuelóleo = 75%; Gas natural y gas licuado del petróleo = 6%; y Electricidad = 19%), lo que suponen 7,44 TWh. En 2020 se prevé un incremento de consumo energético en las explotaciones agrarias del 22% (IDAE, 2011).

Tradicionalmente el concepto de autoconsumo o consumo propio de energía eléctrica (consumo por la misma persona física o jurídica que genera la energía) se ha venido aplicando en instalaciones de cogeneración dentro del régimen especial de producción de energía eléctrica. Ya en 2009, según datos estimados por IDAE, alrededor del 30% de la energía eléctrica generada por los equipos de cogeneración era consumida por los centros de consumo asociados a las centrales, lo que significa que en torno a 9.240 GWh se utilizaron en ese año para autoconsumo.

Actualmente otras tecnologías diferentes de la cogeneración, como fotovoltaica o eólica, podrían estar en condiciones de suministrar energía eléctrica para autoconsumo de una manera competitiva, según el recurso disponible y coste de instalación, lo que ha despertado el interés por este concepto de consumidores eléctricos, y por tanto de instaladores y promotores.

Al hilo de fomentar medidas de ahorro y eficiencia energética para la reducción de los consumos de energía en las explotaciones agrícolas y ganaderas (medida 5.4 del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020), se ha realizado el presente trabajo que considera como punto de partida una instalación solar fotovoltaica, proyectada en una explotación agraria, cuyo trabajo será en régimen de autoconsumo total, es decir, trabajará interconectada con la red eléctrica ya existente pero no inyectará energía en la red de distribución eléctrica.

Sobre la premisa que la potencia de los módulos fotovoltaicos (W), la inclinación (grados) y la naturaleza tecnológica del semiconductor empleado en los módulos (silicio mono o policristalino) podrían ser algunos de los factores determinantes a la hora de elegir una propuesta de instalación, entendiéndolo por ello como la mejor solución dentro de las combinaciones estudiadas de estos factores, el objetivo de este trabajo consiste en precisar la mejor solución dentro de la situación concreta estudiada.

Material y Métodos

Se ha considerado una instalación que consume mensualmente una media de 2 MWh, y su localización, en función de la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal sea de tipo climático III, de modo que reciba una irradiación media diaria de 4,2-4,6 kWh·m⁻² (Ministerio-de-Fomento, 2011).

Se plantea un diseño factorial sin repeticiones con tres factores fijos (Montgomery and Runger, 2003): (1) potencia de los módulos fotovoltaicos con cuatro niveles: 240, 295, 300 y 330 W; (2) inclinación con dos niveles: 11,3 y 30 grados (apoyado o levantado de la cubierta de una nave agroganadera); y (3) tecnología del semiconductor con dos niveles: silicio monocristalino y silicio policristalino, donde se midió simulando con el software utilizado como guía en este tipo de instalaciones: PVsyst (PVsyst SA, Switzerland), las siguientes variables dependientes: (a) número de módulos totales; (b) potencia total instalada; (c) potencia del inversor; (d) superficie necesaria para la instalación; (e) energía producida; y (f) rendimiento de la instalación (Tabla 1).

Sobre los datos de la Tabla 1 se realizó un Análisis de Varianza no balanceado sin replicación (Modelo Lineal General) de dos factores fijos. La comparación de medias para las variables estudiadas según la naturaleza del semiconductor fue llevada a cabo con el test t de Student y las correlaciones entre las variables son las de Pearson. Todos los análisis han sido llevados a cabo con el paquete estadístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Tabla 2: Número de módulos fotovoltaicos, potencia total instalada, potencia del inversor, superficie necesaria para su instalación, energía producida y su rendimiento en función de la potencia de los módulos empleados, la inclinación y la tecnología del semiconductor.

Potencia módulos (W)	Inclinación	Tecnología	Número de módulos	Potencia instalada (kW)	Potencia Inversor (kW)	Superficie útil (m ²)	Energía Producida (kWh)	Factor de rendimiento
240	11,3	Si-Mono	68	16,320	16	113	57,88	0,710
		Si-Poli	68	16,320	16	109	77,62	0,723
	30	Si-Mono	46	11,040	11	75	64,46	0,765
		Si-Poli	46	11,040	11	74	62,88	0,739
295	11,3	Si-Mono	56	16,520	16	107	77,95	0,715
		Si-Poli	56	16,520	16	107	78,08	0,719
	30	Si-Mono	39	11,505	11	75	54,03	0,711
		Si-Poli	39	11,505	11	75	63,70	0,719
300	11,3	Si-Mono	55	16,500	16	90	79,36	0,737
		Si-Poli	55	16,500	16	131	77,10	0,711
	30	Si-Mono	39	11,700	11	75	64,69	0,717
		Si-Poli	39	11,700	11	75	64,86	0,719
330	11,3	Si-Mono	48	15,840	16	129	77,20	0,749
		Si-Poli	50	16,500	16	121	78,17	0,728
	30	Si-Mono	32	10,560	11	86	60,76	0,751
		Si-Poli	33	10,890	11	80	60,96	0,731

Resultados y Discusión

En lo relativo al número total de módulos, analizando las posibles diferencias debidas a la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos observamos que no resultan significativas: Silicio monocristalino 47,875 módulos vs. Silicio policristalino 48,250 módulos ($t = -0,065$; $p = 0,949$). Por esta razón, el análisis de las diferencias lo circunscribimos a la potencia de los módulos y su inclinación (Tabla 2), de donde se puede observar que sobre todo la inclinación de los módulos en grados (Figura 1) y después la potencia de éstos ejercen un efecto significativo sobre el número de módulos total necesario en la instalación, siendo la combinación significativamente más favorable aquella que tiene una potencia de 330 W y una inclinación de 30° (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 3: Medias mínimo cuadráticas del número de módulos, la potencia instalada (kW), superficie útil (m^2), energía producida (kWh) y factor de rendimiento de la instalación, según la potencia de los módulos y su inclinación. Test ANOVA (GLM) con dos factores fijos: (1) Potencia de los módulos (PM), y (2) inclinación (I), para la comparación de medias, en las que letras distintas evidencian diferencias significativas a través del Test Pos-Hoc de Tukey. SEM: error estándar de la media.

Variables	Potencia módulos (W)				Inclinación		Probabilidad		
	240	295	300	330	11,3	30	SEM	PM	I
Número de módulos	57,00c	47,50b	47,00b	40,75a	57,00	39,12	0,395	<0,001	<0,001
Potencia instalada (kW)	13,68ab	14,01bc	14,10c	13,45a	16,38	11,24	0,130	0,004	<0,001
Superficie útil (m^2)	92,75	91,00	92,75	104,00	113,37	76,87	7,496	0,348	<0,001
Energía Producida (kWh)	65,71	68,44	71,50	69,27	75,42	62,04	3,920	0,555	0,001
Factor de rendimiento	0,734	0,716	0,721	0,740	0,724	0,732	0,009	0,082	0,260

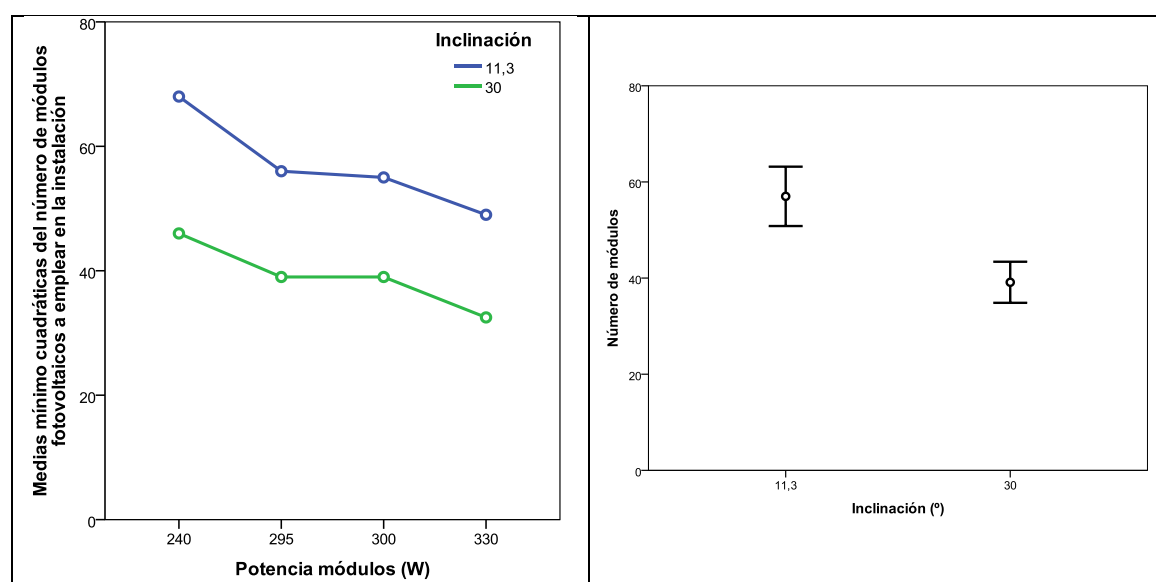


Figura 11: Medias mínimo cuadráticas del número de módulos fotovoltaicos a instalar de acuerdo con la potencia de los módulos y su inclinación (izq.); intervalo de confianza (95%) del número de módulos según la inclinación de los módulos fotovoltaicos (dcha.).

En cuanto a la potencia instalada, magnitud que guarda una positiva y significativa correlación con el número total de módulos necesarios en la instalación ($r = 0,840$; $p < 0,001$), tampoco se ve afectada por la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos: Silicio monocristalino 13,748 kW vs. Silicio policristalino 13,871 kW ($t = -0,090$; $p = 0,930$). Del mismo modo que para el número de módulos, se observa un efecto significativo de la inclinación de modo que los módulos inclinados 30° derivan en una significativamente menor potencia instalada que aquellos otros inclinados $11,3^\circ$ (Tabla 2 y Figura 2), siendo la combinación significativamente más favorable aquella que tiene una potencia de 330 W y una inclinación de 30° (Tabla 2 y Figura 2).

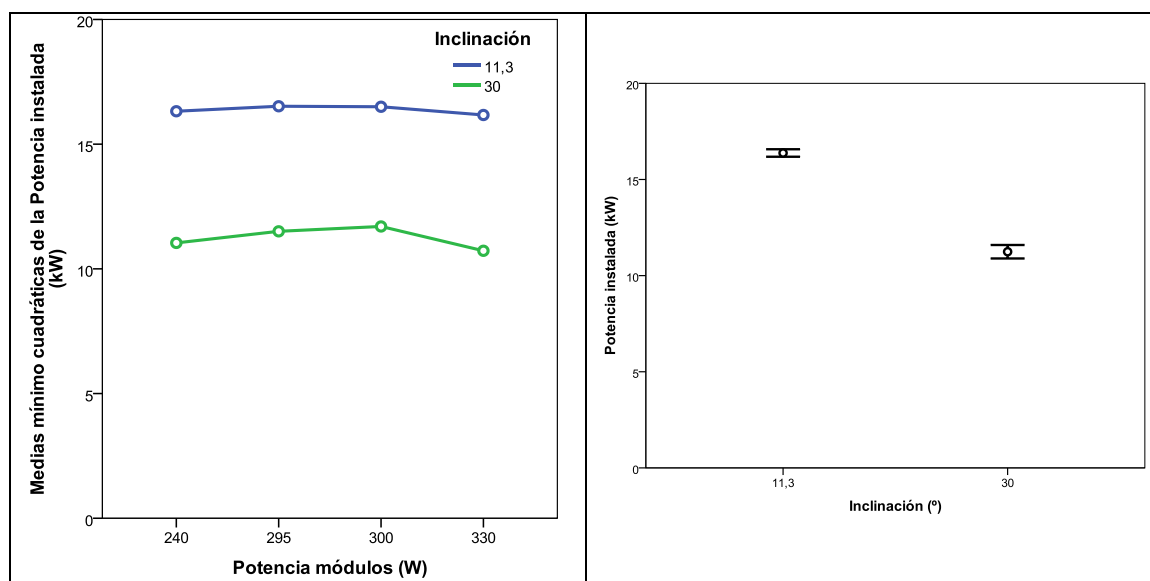


Figura 12: Medias mínimo cuadráticas de la potencia instalada (kW) de acuerdo con la potencia de los módulos y su inclinación (izq.); intervalo de confianza (95%) de la potencia instalada según la inclinación de los módulos fotovoltaicos (dcha.).

En lo relativo a la superficie necesaria para ubicar la instalación, variable que guarda una positiva y significativa correlación tanto con el número total de módulos ($r = 0,646$; $p = 0,007$), y más con la potencia instalada ($r = 0,862$; $p < 0,001$), tampoco se ve afectada por la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos: Silicio monocristalino $93,75 \text{ m}^2$ vs. Silicio policristalino $96,50 \text{ m}^2$ ($t = -0,252$; $p = 0,805$). Por tanto, del mismo modo que con el número de módulos y la potencia instalada, procedemos a restringir el estudio de las diferencias bajo el efecto de la potencia de los módulos y su inclinación (Tabla 2 y Figura 3), donde se puede observar un único efecto significativo debido a la inclinación de los módulos. Siendo la combinación significativamente más favorable cualesquiera que tenga una inclinación de 30° (Tabla 2 y Figura 3).

En cuanto a la energía producida (kWh), variable que guarda una positiva y significativa correlación tanto con la potencia instalada (kW) ($r = 0,788$; $p < 0,001$), como con la superficie necesaria para la instalación (m^2) ($r = 0,674$; $p = 0,004$), como con el número de módulos a instalar ($r = 0,529$; $p = 0,035$), tampoco se ve afectada por la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos: Silicio monocristalino 67,04 kWh vs. Silicio policristalino 70,42 kWh ($t = -0,757$; $p = 0,462$). De modo que restringiendo el estudio de las diferencias bajo el efecto de la potencia de los módulos y su inclinación (Tabla 2 y Figura 4), se puede observar un único efecto significativo debido a la inclinación de los módulos. Siendo la combinación significativamente más favorable cualesquiera que tenga una inclinación de $11,3^\circ$ (Tabla 2 y Figura 4).

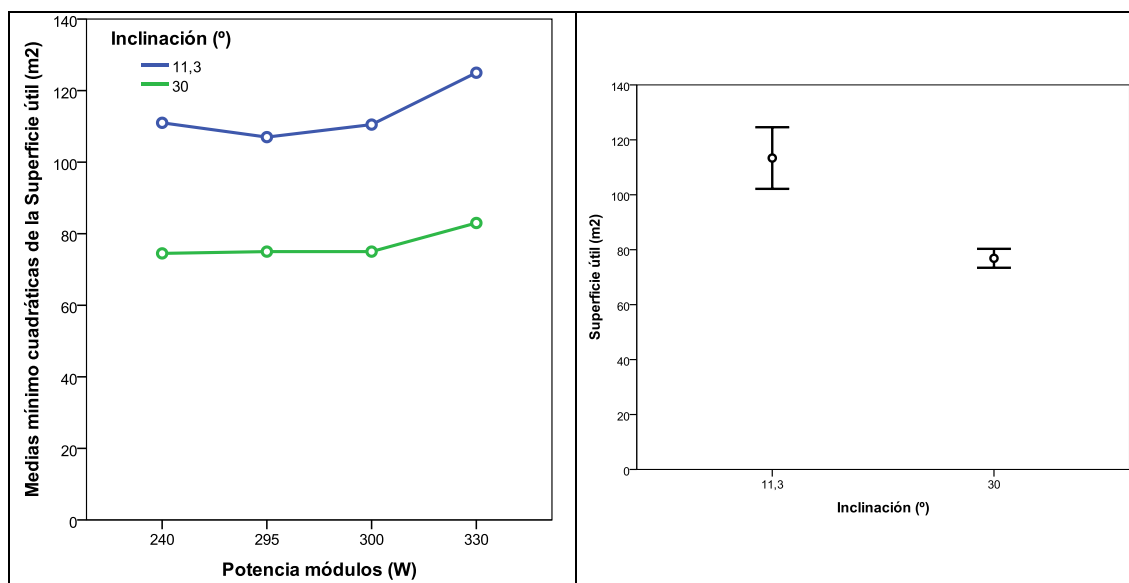


Figura 13: Medias mínimo cuadráticas de la superficie necesaria para la instalación (m^2) de acuerdo con la potencia de los módulos y su inclinación (izq.); intervalo de confianza (95%) de la potencia instalada según la inclinación de los módulos fotovoltaicos (dcha.).

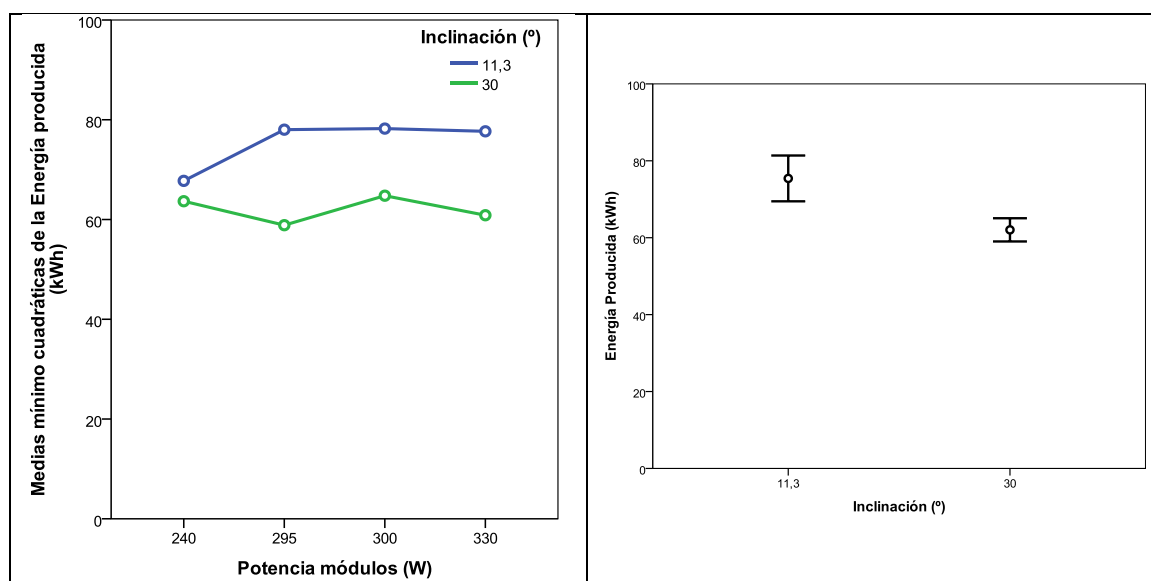


Figura 14: Medias mínimo cuadráticas de la energía producida (kWh) de acuerdo con la potencia de los módulos y su inclinación (izq.); intervalo de confianza (95%) de la energía producida según la inclinación de los módulos fotovoltaicos (dcha.).

Por último, la eficiencia de la combinación, variable que no guarda correlaciones significativas con ninguna de las variables anteriormente estudiadas, tampoco se ve afectada por la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos: Silicio monocristalino 0,732 vs. Silicio policristalino 0,724 ($t = 1,010$; $p = 0,338$). Por tanto, restringiendo el estudio de las diferencias a los efectos de la potencia de los módulos a instalar y su inclinación, no se observan diferencias significativas por el efecto de los efectos fijos, de modo que, respecto a esta variable, cualquier combinación no resulta significativamente ni mejor ni peor que cualquier otra (Tabla 2 y Figura 5).

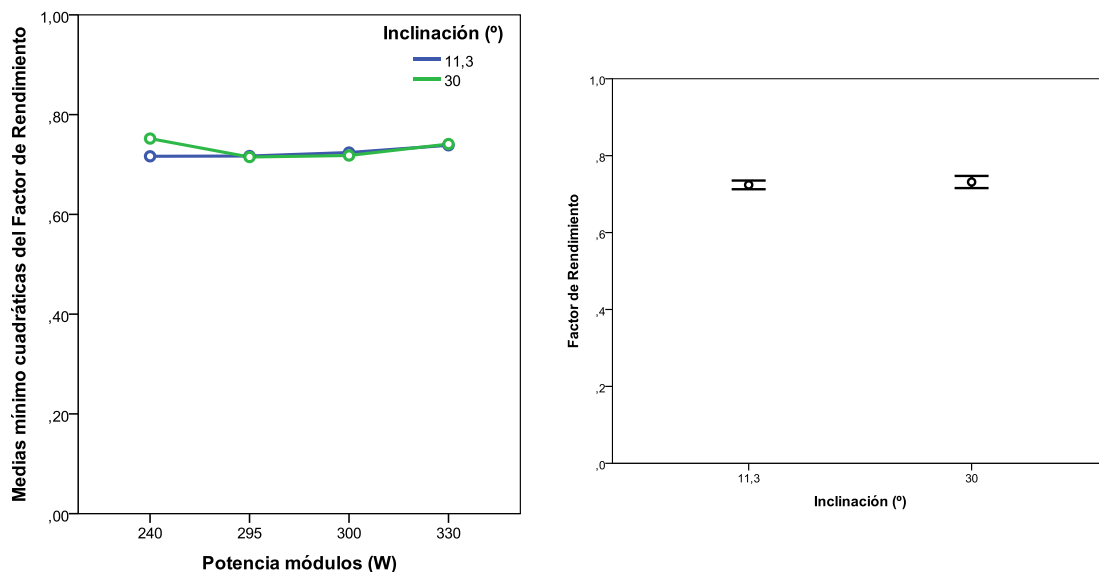


Figura 15: Medias mínimo cuadráticas del factor de rendimiento de acuerdo con la potencia de los módulos y su inclinación (izq.); intervalo de confianza (95%) del factor de rendimiento según la inclinación de los módulos fotovoltaicos (dcha.).

Conclusiones

La inclinación resulta ser el factor crítico más relevante, mostrando un efecto significativo sobre el número de módulos necesarios, la potencia instalada, la superficie a ocupar por los módulos y la energía producida por el conjunto de la instalación.

La potencia de los módulos es el segundo factor crítico a tener en cuenta, de modo que los de mayor potencia reducen la potencia instalada.

Los resultados muestran que, el efecto de la naturaleza del semiconductor empleado en los módulos: Silicio monocristalino vs. Silicio policristalino, no es relevante para las variables de estudio.

La combinación de una inclinación de 30° y una potencia del módulo de 330 W resulta ser la mejor solución dentro de las estudiadas para esta zona climática de tipo III dentro de los valores propuestos para los factores considerados.

Bibliografía

- IDAE, 2011. "Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020," Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid (Spain).
- Ministerio-de-Fomento, 2011. Zonificación climática en función de la radiación solar global media diaria anual DA DB-HE / 1. In "Código Técnico de la Edificación", pp. 157. Ministerio de Fomento, Madrid (Spain).
- Montgomery, D. C., y Runger, G. C. 2003. "Applied Statistics and Probability for Engineers," 3rd/Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York (USA).

E09 - Avaliação de Consumos Energéticos em olivais intensivos e super-intensivos

Enoque, E. ¹, Silva, L.L. ², Murcho, D. ³, Baptista, F.J. ⁴

^{1,2,3,4}Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, ^{2,4}ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Núcleo da Mitra, Ap. 94, 7002-554 Évora, Portugal. fb@uevora.pt; llsilva@uevora.pt

Resumo

O aumento da eficiência energética é um desafio que se coloca actualmente como contributo para a conservação do ambiente e dos recursos naturais. A utilização mais eficiente da energia significa obter maior produtividade por unidade de energia consumida. Tal é possível de duas formas, reduzindo o consumo de energia ou aumentando a produção. A avaliação do consumo de energia na agricultura tem-se centrado principalmente nos consumos de energia directa, mas neste trabalho mostramos que uma parte muito importante da energia total consumida nas explorações está relacionada com a energia indirecta, como p.e. a energia utilizada na produção de fertilizantes e outros factores de produção. Foi recolhida informação de quatro olivais em sistema intensivo e dois em sistema super-intensivo e foram estimados indicadores que permitem avaliar os consumos de energia directa e indirecta, que permitiram identificar quais os factores de produção com maior impacto do ponto de vista energético e ambiental. Os fertilizantes são um factor de produção muito importante no que ao consumo de energia diz respeito, seguido do gasóleo utilizado para as diferentes operações culturais. Os maiores consumos de energia, em todas as explorações, relacionaram-se com a utilização de fertilizantes. Os resultados obtidos parecem indicar que para melhorar a eficiência energética na produção do olival será fundamental investir numa utilização racional dos fertilizantes. Para tal, será necessário ter programas de fertilização perfeitamente adaptados ao sistema de produção, à variedade, ao estado fenológico da cultura e às características do solo, entre outros aspectos.

Palavras-chaves: Eficiência energética, Energia directa, Energia indirecta

Evaluation of energy consumption in intensive and super-intensive olive groves.

Abstract

Improving energy efficiency is a challenge now being raised as a contribution to the conservation of the environment and natural resources. A more efficient use of energy means high productivity per unit of energy used. That is possible to achieve in two ways, reducing energy consumption or increasing production. The evaluation of energy consumption in agriculture has been focus mainly on direct energy consumption, but in this work we show that a very important part of the total energy consumed on farms is related to the production of fertilizers and other inputs (p.e. pesticides). The information was obtained from four olive groves in intensive production system and two in super-intensive production system and the energy consumption indicators were estimated for direct and indirect energy, which allowed identifying the inputs with high impact on energy consumption and on the environment.

Fertilizers are a very important factor in energy consumption, followed by diesel used for the different agricultural operations. The highest energy consumption values, in all farms, were due to the use of fertilizers.. The results seem to indicate that to improve energy efficiency in olive grove production it will be essential to invest in a rational use of fertilizers. This will need fertilization programs perfectly adapted to the production systems, the variety, the crop stage and the soil characteristics, among others.

Keywords: Energy efficiency, Direct energy, Indirect energy.

Introdução

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma espécie de grande importância nos países Mediterrânicos, na perspectiva socioeconómica e ambiental, constituindo o meio de subsistência de muitas famílias, sendo uma fonte de empregabilidade no meio rural (Guzman e Alonso, 2008). Na Bacia Mediterrânica encontra-se entre 95 e 97% da área mundial de olival (Garcia, 2005; Paço *et al.*, 2012). Actualmente são vários os sistemas de produção: Tradicional (sequeiro), Intensivo e Super-Intensivo (regadio) com grandes diferenças relativamente às técnicas culturais e tecnologias utilizadas, nomeadamente a densidade de plantas e a utilização de água de rega e mecanização, especialmente no que se refere às operações de poda e de colheita. Estas reflectem-se naturalmente em diferentes consumos energéticos e também em diferentes níveis de produtividade.

Segundo o INE (2011), de acordo com a informação recolhida no recenseamento agrícola de 2009, em Portugal, o olival em termos de área é uma das principais culturas permanentes, com uma área total de 335 841 hectares, ocupando 52% da superfície total ocupada por culturas permanentes. As principais regiões em que é cultivado são as regiões do Alentejo com uma área correspondente a 49% da área total de olival, Trás-os-Montes com 22% e a Beira interior com 14%.

Nos últimos anos o consumo de combustíveis fósseis na agricultura tornou-se importante devido à intensificação dos sistemas de produção. De acordo com estatísticas Europeias a energia final consumida no sector agrícola corresponde a 2,2 % do total da energia final consumida na União Europeia (Golaszewski *et al.*, 2012), contribuindo para a redução das reservas de combustíveis fósseis e também para o aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera (IPCC, 1997). A eficiência energética é um tema actual em termos gerais e não é excepção na agricultura. De facto, o aumento da eficiência energética contribui para a redução dos custos de produção, da dependência dos combustíveis fósseis e das emissões de GEE. Uma análise energética pode indicar formas de diminuir os consumos e aumentar a eficiência energética (Clements *et al.*, 2005; Strapatsa *et al.*, 2006), sem prejudicar a produtividade. A combinação dos aspectos económicos, ambientais e energéticos nos sistemas de produção, poderão ser úteis na implantação de melhores estratégias de gestão (Pimentel *et al.*, 2005).

Actualmente alguns estudos realizados em Espanha e em Itália, recomendam os olivais intensivos, caracterizados por terem colheita mecanizada e aos quais se associam rendimentos mais elevados e menores custos de produção (Ranalli *et al.*, 2000). De salientar que os sistemas intensivos surgiram como consequência da Política Agrícola Comum (PAC) e da maior disponibilidade de água, o que fomentou culturas mais intensivas, com elevados níveis de mecanização e utilizando sistemas de fertirrega, permitindo aumentar a produtividade e conduzindo a uma maior compensação financeira (Guzman e Alonso, 2008). Os sistemas intensivos caracterizam-se por ter densidades de árvores entre 200 a 600 árvores por hectare ou entre 200 a 1500 árvores por hectare, segundo Basso *et al.* (2008) e Guzman e Alonso (2008), respectivamente. Consideram-se sistemas super-intensivos, os olivais com densidades de árvores entre 1500 a 2500 árvores por hectare (Angiolina *et al.*, 2010). Segundo Kaltsas *et al.* (2007) os consumos de energia fóssil são muito elevados nestes sistemas de produção, devido à energia consumida directamente nas explorações agrícolas (combustíveis e electricidade) para a realização de algumas operações culturais e também devido à

energia indirecta usada na produção de fertilizantes, pesticidas, dos sistemas de rega e das máquinas agrícolas.

A actividade agrícola está em constante mudança em função do tempo e do espaço, porém a inovação tecnológica da agricultura, tem estado a levantar questões ligadas à sustentabilidade ambiental e económica a longo prazo. A inovação tecnológica veio aumentar a produtividade e a rentabilidade financeira das explorações, embora com algumas consequências negativas, como p.e. a poluição do ambiente e a destruição da biodiversidade (Paço *et al.*, 2012). De acordo com Ozkan *et al.*, (2007) a utilização eficiente dos recursos energéticos é vital em termos de aumento de produção, produtividade e competitividade da agricultura.

A agricultura é uma fonte de emissões GEE, contribuindo com cerca de 10-12% das emissões mundiais, o que por sua vez corresponde a 6,1 Gton de CO₂-eq (Groenigen *et al.*, 2012). Portanto, para reduzir as emissões de GEE, tem que se baixar o uso de energia fóssil. A realização deste estudo teve como principal objectivo avaliar os consumos energéticos de diferentes sistemas de condução do olival. Pretende-se estimar indicadores energéticos tais como, Energia directa, Energia indirecta, Energia total, Energia específica e Produtividade energética, que permitirão comparar os diferentes sistemas do ponto de vista energético e identificar os consumos de energia mais importantes e propor formas de minimizar o desperdício de energia tornando a exploração mais eficiente.

Material e Métodos

Recolha de informação

A recolha de informação foi realizada nas regiões do Alto e do Baixo Alentejo, durante o ano de 2012 e teve como base seis empresas que possuem olivais com diferentes sistemas de condução, das quais quatro são olivais intensivos (A) e dois são olivais super-intensivos (B). Foi feito um levantamento de informação *in loco* das técnicas de produção, de factores de produção e também dos equipamentos utilizados desde a instalação até à colheita. Todos os dados apresentados foram fornecidos pelos responsáveis das diferentes explorações.

A Tabela 1 apresenta as características resumidas dos olivais analisados. As variedades utilizadas foram Cobrançosa (Sistema de Produção Intensivo) e Arbequina (Sistema de Produção Super-Intensivo). Antes da instalação do olival ocorreram várias operações de preparação do solo para permitir a adequada implantação das plantas. Nos olivais super-intensivos a plantação é efectuada mecanicamente com guiamento por GPS. Utiliza-se um plantador que abre um sulco, coloca a planta e um tutor nesse sulco, necessitando de dois operadores no plantador, além do condutor do tractor. Um dos operadores do plantador coloca as plantas no local adequado para a máquina a colocar no solo e o segundo operador faz o equivalente para o tutor. Nos olivais intensivos a plantação é manual. Faz-se uma prévia abertura da cova de plantação que pode ser feita com uma broca ou com mini-giratória, seguindo-se a plantação manual. A colocação de tutores e protectores são também operações efectuadas manualmente.

Metodologia de avaliação dos consumos energéticos

Para a avaliação dos consumos energéticos foram calculados os consumos de energia primária directa, indirecta e total. A energia directa, neste caso, a energia relacionada com os combustíveis utilizados nas operações culturais, foi calculada tendo em consideração as horas de trabalho por hectare (h ha^{-1}) e o consumo de combustível por hora (L h^{-1}), que permitiu determinar o consumo por hectare (L ha^{-1}), que depois foi multiplicado pelo respectivo coeficiente energético (MJ L^{-1}), obtendo-se a energia consumida por hectare (MJ ha^{-1}).

Tabela 1 – Principais factores de produção (valores médios) considerados nos olivais intensivos e super-intensivos

Operações Culturais	Olival intensivo	Super-Intensivo
Fertilizantes aplicados (Kg ha^{-1})	55,88 N; 34,88 P_2O_5 e 55,56 K_2O .	105 N, 45 P_2O_5 e 100 K_2O .
Pesticidas aplicados (kg s.a. ha^{-1})	1,5 kg fungicidas; 1,53 kg herbicidas e 1,4 kg insecticidas.	3,8 kg fungicidas; 2,5 kg herbicidas e 2,1 kg insecticidas.
Água de rega aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2375 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (Maio a Setembro). Rega gota-a-gota.	2000 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ (Maio a Setembro). Rega gota-a-gota.
Controlo de infestantes	Na linha efectuado com herbicidas e na entrelinha por grade de discos ou por corte mecânico com um destruidor.	Na linha efectuado com herbicida e na entrelinha por grade de discos.
Poda	Efectuado com recurso a uma máquina de podar de discos. De forma ligeira de 2 a 4 anos.	Efectuada com recurso a uma máquina de podar de discos, anualmente de uma forma ligeira.
Colheita	Efectuada com vibrador de ramos e da árvore completa. A recolha de azeitona é feita em panos (Novembro a Dezembro).	Efectuada com uma máquina de colheita automotriz (Novembro a Dezembro).
Produção média (ton ha^{-1})	6	10
Vida útil	30 anos	12 anos

Quanto à energia indirecta, referente aos fertilizantes, pesticidas e materiais auxiliares, foi calculada tomando em consideração as quantidades de produto aplicado por hectare (kg ha^{-1}) multiplicado pelo respectivo coeficiente energético (MJ kg^{-1}), obtendo-se a energia consumida por hectare (MJ ha^{-1}). A energia total é a soma da energia directa e indirecta, expressa em MJ ha^{-1} .

De modo a melhor analisar os consumos energéticos foram também calculadas a energia específica e a produtividade energética. A energia específica, obtêm-se dividindo a energia consumida por hectare (MJ ha^{-1}), pela produção obtida por unidade de área (ton ha^{-1}) o que permite obter a energia consumida por tonelada de produto produzido (MJ ton^{-1}). A produtividade energética, é o inverso da energia específica, e permite quantificar a produção obtida por unidade de energia (ton MJ^{-1}). No caso da energia directa considerou-se apenas a energia referente ao consumo de gasóleo, enquanto no caso da energia indirecta foi considerada a energia correspondente aos seguintes factores de produção: fertilizantes, pesticidas, sistema de rega e materiais auxiliares como os tutores, protectores e panos para a colheita.

A energia consumida foi estimada para cada operação e para cada factor de produção com base na informação fornecida pelas explorações (quantidade de produto utilizado) e em coeficientes publicados na literatura (Tabela 2). O valor do consumo energético associado à rega foi calculado em função do sistema de rega, que no caso foi o sistema de rega gota-a-gota, e do volume de água consumido (Mihov e Tringoska, 2010). No caso dos materiais auxiliares considerou-se a energia consumida no fabrico dos tutores utilizados na plantação, dos protectores contra os roedores e dos panos utilizados na colheita.

Tabela 2 - Coeficientes utilizados no cálculo da energia para os diferentes factores de produção

	Energia primária	Unidades	Fontes
Materiais	57	MJ kg ⁻¹	http://www.pvc.org/en/p/eco-profiles--lca
Azoto	48,99	MJ kg ⁻¹	www.biograce.net
Fosforo	15,23	MJ kg ⁻¹	www.biograce.net
Potássio	9,68	MJ kg ⁻¹	www.biograce.net
Pesticidas	268,40	MJ kg ⁻¹ s.a	www.biograce.net
Electricidade	9,7	MJ kWh ⁻¹	www.biograce.net
Rega	0,63	MJ m ⁻³	Mihov e Tringoska (2010)
Gasóleo	49,996	MJ L ⁻¹	www.biograce.net

Resultados e Discussão

Energia primária consumida

Na Tabela 3 encontram-se os valores relativos à produção e consumo de energia directa, indirecta e total (MJ ha⁻¹) para os diferentes olivais estudados.

Tabela 3 – Produção e consumos de energia primária nos olivais em sistema intensivo (A) e em sistema super-intensivo (B)

	A1	A2	A3	A4	B1	B2
Produção (ton ha ⁻¹)	8,8	6	4,5	5	10	10
Energia Directa (MJ ha ⁻¹)	2857,81	2557,30	2182,46	2247,32	1846,73	2224,82
Energia Indirecta (MJ ha ⁻¹)	6261,29	7264,74	5949,24	5064,70	8047,40	14504,71
Energia Total (MJ ha ⁻¹)	9119,10	9822,03	8131,70	7312,02	9894,13	16729,53

Verifica-se que o consumo de energia directa (gasóleo) apresenta valores bastante inferiores aos consumos de energia indirecta, em ambos os sistemas de produção. O que permite realçar a importância do consumo de energia indirecta na contabilização da energia total consumida nestes sistemas de produção. Comparando os valores de energia directa consumida em ambos os sistemas de produção, verifica-se que nos sistemas intensivos o consumo de energia directa é quase sempre superior aos sistemas super-intensivos, mas com valores próximos na maioria dos casos. Tal pode ser explicado pelo maior tempo gasto nas operações de colheita nos olivais intensivos.

No caso da energia indirecta, o consumo nos olivais em sistema super-intensivo (B1 e B2) são superiores aos dos olivais intensivos, sendo que no caso do olival B2 são

bastante superiores. O olival B2 apresentou valores bastante superiores da energia indirecta devido à utilização de maior quantidade de fertilizantes e de pesticidas, o que se justifica pelo facto de possuir maior número de árvores por hectare. A energia primária total consumida nos olivais onde o sistema de produção é intensivo, apresentou, na generalidade, um valor mais baixo que nos olivais super-intensivos. No entanto, no caso do olival A2 os valores são praticamente iguais aos do olival B1 do sistema super-intensivo. O olival A2 tem um consumo de energia indirecta maior que os outros olivais no mesmo sistema de produção, já que houve neste caso, maior consumo de fertilizantes e de pesticidas.

Verifica-se também que no caso dos olivais em sistema intensivo os valores são próximos entre os diferentes olivais, o que já não acontece no caso dos olivais em sistema super-intensivo onde os dois olivais analisados apresentam uma diferença muito grande nos valores totais de energia consumida. Assim, estes resultados parecem mostrar a necessidade de efectuar mais recolha de informação de modo a conseguir ter uma ideia mais precisa sobre os consumos neste sistema de condução do olival.

Na Tabela 4 apresentam-se os valores relativos aos consumos de energia nas diferentes categorias de factores de produção nos olivais em sistema intensivo e super-intensivo analisados.

Tabela 4 – Consumo de energia primária dos diferentes factores de produção nos olivais em sistema intensivo (A) e em sistema super-intensivo (B)

Energia primária consumida (MJ ha ⁻¹)	A1	A2	A3	A4	B1	B2
Materiais	40,15	41,21	37,54	39,37	79,18	14,25
Fertilizantes	3871,96	4697,78	2762,04	3280,20	5371,40	10008,63
Pesticidas	900,12	1265,64	1259,65	485,13	1332,88	3220,80
Rega	1449,07	1260,11	1890,00	1260,00	1263,94	1261,04
Gasóleo	2857,81	2557,30	2182,46	2247,32	1846,73	2224,82
Total	9119,10	9822,03	8131,70	7312,02	9894,13	16729,53

Verifica-se que o maior consumo de energia, nos dois sistemas de produção, é o referente aos fertilizantes, com valores que variam entre os 33% e os 47% da energia total consumida por hectare, no caso dos sistemas intensivos e entre 54% e 60% nos sistemas super-intensivos. No caso dos sistemas intensivos segue-se o consumo de gasóleo, com valores entre os 26 e 31 % do valor total de energia consumida por hectare, depois o consumo de energia na rega (13 a 23 %), nos pesticidas (7 a 16%) e em último lugar nos materiais com um valor inferior a 1% em todas as explorações. No caso da exploração A1 o maior consumo de gasóleo verificado deve-se à operação de poda, que só ocorreu nesta exploração. A produção de azeitona nas explorações A1 e A2 é superior às outras (Tabela 3). No caso da A2 utiliza-se maior quantidade de fertilizantes, o que já não acontece com a A1. De facto, o maior consumo de fertilizantes aconteceu nas explorações A2 e A4, sendo que esta última a produção obtida é relativamente baixa. De qualquer modo, os resultados obtidos estão de acordo com Genitsariotis *et al.* (1999, 2000) citado por Kaltsas *et al.* (2007) que referem que os fertilizantes chegam a consumir pelo menos 50% de energia nos sistemas agrícolas. Por outro lado, estes resultados mostram que existe muito por estudar e que outros trabalhos com o maior número possível de olivais devem ser realizados, de modo a

permitirem compreender melhor a relação entre fertilização e produção, tendo em consideração os outros factores que influenciam a produtividade. No caso, das explorações A1 e A2, que obtêm elevada produtividade, o consumo de fertilizantes foi muito diferente, e isso pode estar relacionado com muitos factores como o tipo de solo, as condições climáticas, a variedade, idade do olival, o momento de aplicação da água de rega, etc..

No caso dos olivais super-intensivos existem algumas diferenças quer entre as duas explorações analisadas quer entre estas e o que acontecia nos sistemas intensivos. Na exploração B1 o segundo factor de produção mais consumidor de energia é o gasóleo (19%), tal como acontecia nos sistemas intensivos, seguido dos pesticidas (14%). Mas na exploração B2, o peso dos pesticidas (19%) é maior do que o do gasóleo (13%). Poderá ser pelo facto de que na exploração B2 não houve operação de poda, mas também porque a quantidade de pesticidas aplicados neste olival foram muito superiores aos aplicados no olival B1. A rega também apresenta uma menor importância percentual no consumo de energia nestes olivais (8% a 13%), relativamente aos olivais intensivos.

De modo a fazer uma análise comparativa entre os dois sistemas de condução do olival, calculou-se a média da energia total consumida nos olivais estudados em cada um dos sistemas (Figura 1). Os consumos de energia primária total médios também diferem, sendo de cerca de 8600 MJ ha⁻¹ e 13 300 MJ ha⁻¹ no sistema de produção intensivo e super-intensivo, respectivamente. De facto, como seria de esperar, o olival intensivo apresentou valores menores devido à menor utilização dos factores de produção (energia fóssil, fertilizantes, pesticidas).

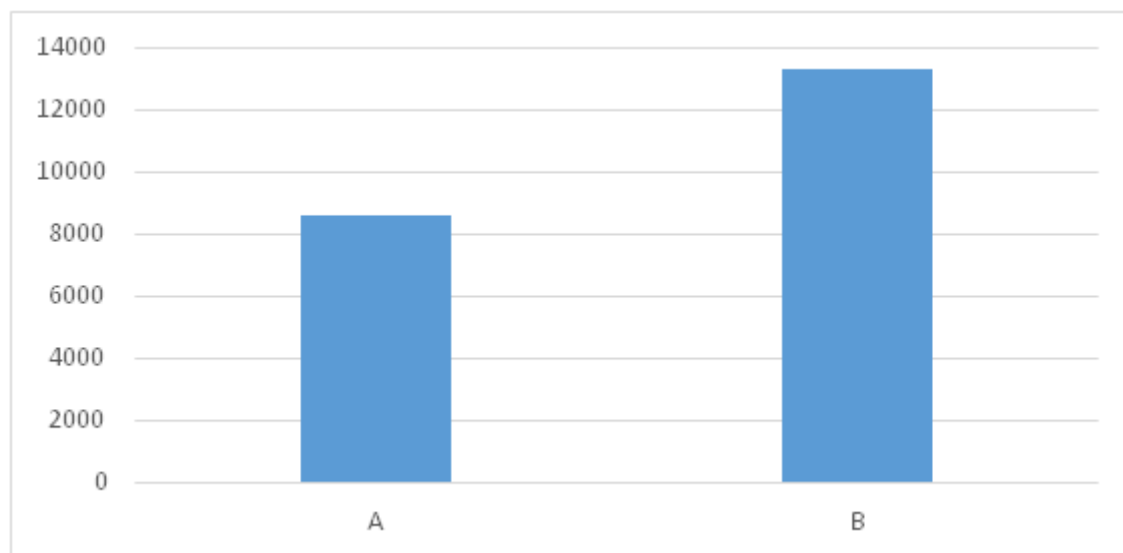


Figura 1 – Média da energia primária consumida em MJ ha⁻¹ para os olivais em sistema intensivo (A) e super-intensivo (B)

3.2 Energia Específica e Produtividade Energética

No caso da energia específica (MJ ton⁻¹) e produtividade específica (ton MJ⁻¹) verifica-se que existe alguma variação entre olivais (Tabela 5). Os olivais em sistema intensivo apresentaram maior valor médio de energia específica 1 486 MJ ton⁻¹, o que é fundamentalmente explicado pelo tempo de trabalho nas operações culturais e pela produção média de azeitona de 6 ton ha⁻¹. Relativamente aos olivais super-intensivos

apresentaram menor valor médio de energia específica 1 331 MJ ton⁻¹, o que se explica pela maior produção de azeitona, 10 ton ha⁻¹. Em termos médios os olivais super-intensivos foram mais eficientes do ponto de vista de utilização da energia, já que se consumiu menos energia para produzir uma tonelada de azeitona, ou seja com maior produtividade energética (Figura 2).

Tabela 5 – Valores da Energia específica e da produtividade energética nos olivais em sistema intensivo (A) e super-intensivo (B)

Indicadores energéticos	A1	A2	A3	A4	B1	B2
Energia Específica (MJ ton ⁻¹)	1036,26	1637,01	1807,04	1462,4	989,41	1672,95
Produtividade Energética (kg MJ ⁻¹)	0,97	0,61	0,55	0,68	1,01	0,60

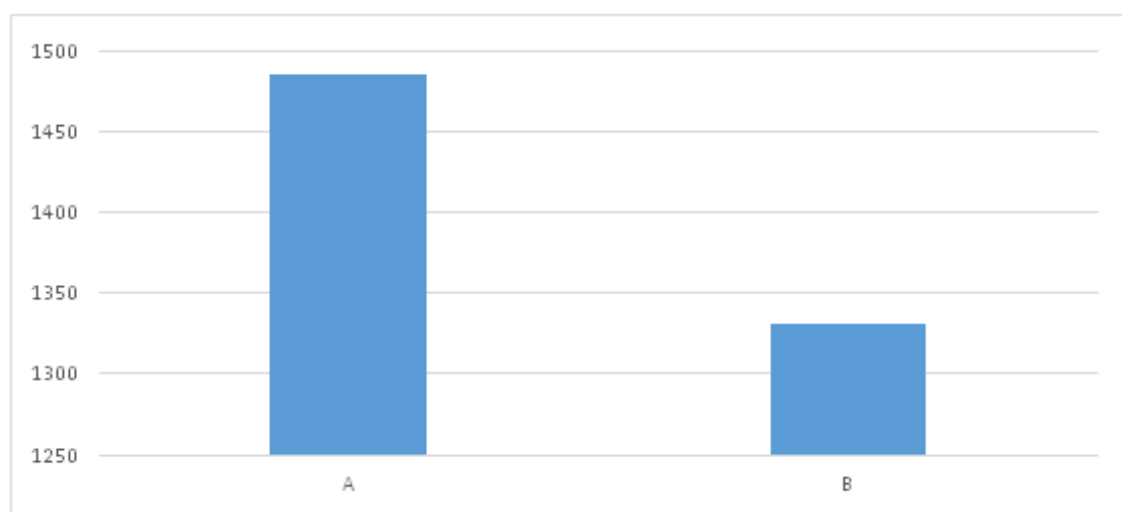


Figura 2 – Média da energia primária consumida em MJ ton⁻¹ para os olivais em sistema intensivo (A) e super-intensivo (B)

Considerações Finais

O aumento da eficiência energética é um desafio que se coloca actualmente no sentido de melhorar a conservação do ambiente e dos recursos escassos, como a água e a energia. A utilização mais eficiente da energia apenas se consegue se os consumos por unidade de produção forem reduzidos. A avaliação do uso de energia na agricultura tem-se centrado principalmente nos consumos de energia directa, mas neste trabalho mostramos que uma parte muito importante da energia total consumida nas explorações está relacionada com a produção de fertilizantes e outros factores de produção (pesticidas, materiais auxiliares). Foram identificados os indicadores energéticos de consumo de energia directa e indirecta, que permitiram identificar quais os factores de produção com maior impacto do ponto de vista energético.

Os fertilizantes são o factor de produção mais importante no que ao consumo de energia diz respeito, seguido do gasóleo utilizado para as diferentes operações culturais. Os resultados obtidos parecem indicar que para melhorar a eficiência energética na produção do olival será fundamental investir numa utilização racional dos fertilizantes. Para tal, será necessário ter programas de fertilização perfeitamente adaptados ao sistema de produção, à variedade, ao estado fenológico da cultura e características do solo, entre outros aspectos. De salientar que este trabalho foi

realizado tendo como base a informação fornecida por responsáveis das várias explorações, não tendo resultado de um trabalho de investigação clássico, com realização de trabalho experimental, previamente delineado e acompanhado ao longo da campanha para recolha de dados. Por este motivo, trata-se de resultados que ilustram casos de estudo, que são indicadores da realidade, mas que devem ser analisados tendo este aspecto em consideração. Cremos ser necessário um trabalho mais longo e com um número muito superior de explorações de modo a ter uma amostragem representativa que possibilitaria retirar mais algumas conclusões.

Referências Bibliográficas

- Angiolina, P., Celano, G., Favati, F., Nuzzo, V., Palese, A. M., Xiloyannis, C. 2010. Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees *Olea europaea*. *Scientia Horticulturae* 125, 222 - 229.
- Basso, B., Metzidakis, I., Nieto, G. C., Vilela, A. M. 2008. Intensive olive orchards on sloping land: Good water and pestmanagement are essential. *Journal of Environmental Management* 89, 120-128.
- Clements, D. R., Weise, S. F., Brown, R., Stonehouse, D. P., Hume, D. J., Swanton, C. J. 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. *Agriculture Ecosystems Environment* 52, 119 - 128.
- Garcia, A. G. 2005. O Cultivo Moderno do Olival; Publicações Europa-América – Coleção EUROAGRO. 295 pp.
- Golaszewski J., de Visser C., Brodzinski Z., Myhan R., Olba-Ziety E., Stolarski M., Buisson F., Ellen H., Stanghellini C., Van Der Voort M., Baptista F.J., Silva L.L., Murcho D., Meyer-Aurich A., Ziegler T., Ahokas J., Jokiniemi T., Mikkola H., Rajaniemi M., Balafoutis A., Briassoulis D., Mistriotis A., Panagakis P., Papadakis G. 2012. State of the art on Energy Efficiency in Agriculture. Country data on energy consumption in different agro-production sectors in the European countries. AGREE Project Deliverable 2.1., 69 pp.
- Groenigen, J. K., Linquist, B., Kessel, S., Borbe, M., Pittelkow, C. 2012. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crop. *Global Change Biology* 18: 194-209.
- Guzman, I. G., Alonso, M. A. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*. 98, 167- 176.
- INE, I.P. 2011. Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos principais resultados. Lisboa, Portugal. 185 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Technical Support Unit, 3, London.
- Kaltas, A. M., Mamolos, A.P., Nanos, G.D., Kalburtji, K.L., Tsatsarelis, C.A. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 122: 243-251.
- Mihov M. and Tringovska I. 2010. Energy efficiency improvement of greenhouse tomato production by applying new biofertilizers. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16, 454-458.
- Ozkan B., Fert C., Karadeniz C.F. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open field grape production. *Energy*, 32: 1500–1504
- Paço, T.A., Nogueira, A. M., Silvestre, C. J., Gonzalez, F. L., Santos, F.L., Pereira, L. S. 2012. Water requirements and footprint of a super-intensive olive grove under Mediterranean climate. *Proceedings of the VII International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*, 16-20 July, Giesenheim, Germany.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience* 55, 573 - 582.

- Ranalli, A., Modesti, G., Patumi, M., Fontanazza, G. 2000. The compositional quality and sensory properties of virgin olive oil from a new olive cultivar I-77. *Food Chemistry*, 69: 37 - 47.
- Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., Tsatsarelis, C.A. 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agric. Ecosystems Environment* 116, 176 - 180.

SESIÓN II: INGENIERÍA DEL REGADÍO

R01 - El riego agrícola con agua marina desalinizada: principales cuestiones agronómicas a considerar

Martínez-Alvarez, V.¹; Martín-Gorriz, B.¹, Soto-García, M.²

¹ E.T.S.I. Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30201 Cartagena, España, victoriano.martínez@upct.es; ² Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 22, 30201 Cartagena, España.

Resumen

La incorporación de agua marina desalinizada al sureste español es la principal estrategia recogida en la planificación hídrica española con el fin de hacer frente al déficit estructural de agua. Las primeras experiencias de riego agrícola con agua marina desalinizada han puesto de manifiesto cuestiones agronómicas que pueden afectar a la productividad de los cultivos, a los costes de fertirrigación y a la conservación de los suelos agrícolas, aspectos que pueden comprometer tanto la viabilidad económica del regadío en el corto plazo como su sostenibilidad ambiental en el largo plazo. Los principales aspectos a considerar en el riego con agua marina desalinizada son: (1) carencias y desequilibrios nutricionales en la composición química, que pueden limitar el desarrollo de los cultivos; (2) elevada concentración de boro, que puede producir problemas de fitotoxicidad en cultivos sensibles; (3) elevada acidez y poder corrosivo como consecuencia de la escasa mineralización del agua, que puede afectar a las instalaciones de riego; y (4) necesidad de una mayor capacidad de control y gestión del agua, tanto en las comunidades de regantes como en las explotaciones agrícolas. Esta comunicación realiza una revisión de estos problemas agronómicos y de gestión en base a los resultados de las primeras experiencias que se están publicando en el ámbito científico. Como principal resultado del estudio se concluye que los problemas anteriormente mencionados se pueden resolver mediante una correcta regulación de este tipo de suministros, que normalice la calidad a conseguir con los postratamientos de remineralización, y que permita la optimización de su gestión conjunta con la de otros recursos hídricos disponibles en cada zona regable. Finalmente se plantea la necesidad de constituir de un comité multidisciplinar que aborde esta cuestión para la singularidad del regadío español, de forma similar a como ya se ha hecho en Israel.

Palabras clave: Desalinización, calidad del agua, boro, fertirrigación, osmosis inversa.

Crop Irrigation with desalinated seawater: key agronomic aspects to consider

Abstract

The incorporation of desalinated seawater to irrigated areas of south-eastern Spain is the main strategy outlined in the Spanish Water Planning in order to address the structural deficit of water. The first experiences of agricultural irrigation with desalinated seawater have revealed agronomic issues that may affect the crop productivity, the cost of fertigation and the conservation of agricultural soils, aspects that can jeopardise both the economic viability of irrigated agriculture in the short-term and its environmental sustainability in the long term. The main questions to consider in crop irrigation with desalinated seawater are: (1) nutrient deficiencies and imbalances in chemical composition, which can limit crop development; (2) high concentration of boron, which can cause phytotoxicity problems in sensitive crops; (3) high acidity and corrosive power as a result of low desalinated sea water mineralization, which may affect irrigation facilities; and (4) need for greater capacity for the control and management of water in both irrigation communities and farms. This paper makes a review of these agronomic and management problems based on the results of the first experiments that are being publishing in this scientific field. The main result of the study indicates that the aforementioned agronomic and management problems can be solved by proper regulation of such supplies, which normalises the required quality provided by the remineralisation post-treatments, and that favours the optimization of their joint management with other available water resources in each irrigation area. Finally there is a need to establish a multidisciplinary committee to address this issue for the uniqueness of Spanish irrigation, similar to what has been done in Israel.

Keywords: Desalination, water quality, boron, fertigation, reverse osmosis

Introducción

La revisión a escala global de las principales experiencias de riego agrícola con agua desalinizada pone de manifiesto que en numerosos países con clima árido o semiárido, y que además disponen de una agricultura altamente tecnificada, la desalinización de aguas salobres representa una fuente de agua suplementaria desde hace varias décadas. Sin embargo, a pesar de que hay países donde se está considerando la posibilidad de aplicar agua marina desalinizada (AMD) al riego agrícola en un futuro próximo, tras la revisión de las bases de datos internacionales más relevantes sólo se han encontrado referencias de su utilización en España e Israel. En España las referencias existentes son: (1) las Islas Canarias, donde hay una prolongada experiencia cuyas conclusiones no son extrapolables al sureste español dada su gran singularidad agroambiental y en el manejo de los cultivos, y (2) recientes suministros desde plantas desalinizadoras del sureste, que generalmente se han mezclado de forma minoritaria con otros recursos continentales y han carecido de seguimiento científico. La experiencia israelí, que se ha desarrollado durante la última década, se caracteriza por un adecuado seguimiento científico y por su semejanza agronómica con el sureste español, motivo por el que sus resultados y conclusiones representan una fuerte de información fundamental para abordar con éxito la incorporación de AMD al riego agrícola.

La principal ventaja de la desalinización de agua marina es su condición de recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas, por lo que estratégicamente resulta idóneo para aumentar de forma sistemática la disponibilidad de recursos hídricos para riego agrícola en zonas deficitarias como el sureste español. Como principal inconveniente persiste el elevado consumo energético asociado a su producción, que cuadriplica el del trasvase Tajo-Segura, generando un coste del agua producto muy elevado y un nivel de emisiones de gases de efecto invernadero poco compatible con las políticas demandadas para el control del cambio climático (Martin-Gorriz *et al.*, 2014). El coste total de producción en las grandes plantas desalinizadoras de la cuenca del Segura oscila entre 0,60 y 0,69 € m⁻³ (Lapuente, 2012), mientras que el valor marginal neto del agua de riego en las zonas regables de la costa se sitúa entre 0,51 y 1,05 € m⁻³ (Calatrava y Martínez-Granados, 2012). Estos datos ponen de manifiesto que, con los costes actuales, no se puede generalizar la idea de suplir la actual carencia de recursos hídricos para riego del sureste español con AMD. Solamente los cultivos más tecnificados y con mayores márgenes económicos pueden soportar los costes del agua desalinizada, pero a costa de una notable pérdida de rentabilidad en comparación con la situación actual. En este sentido también se manifestaron los expertos convocados por la FAO en 2004 (FAO, 2006), donde se concluyó que la aplicación de técnicas de desalinización al riego agrícola es, en general, poco efectiva económicamente, limitándose su utilización a casos concretos de cultivos con alto valor añadido y subvenciones gubernamentales.

La osmosis inversa se ha generalizado como la tecnología de referencia para la desalinización de agua marina, ya que presenta consumos energéticos y costes de producción reducidos en comparación con el resto de tecnologías aplicables a gran escala (Shaffer *et al.*, 2012). El agua marina osmotizada se caracteriza por su escasa

mineralización e importantes desequilibrios en su composición, por lo que no es apta para ningún tipo de suministro doméstico, agrario o industrial (Durenceau *et al.*, 2011). Para adecuar las características del agua marina osmotizada a los requerimientos de los distintos usos debe someterse a postratamientos de remineralización en la propia planta desalinizadora, o mezclarse con otras aguas que corrijan sus desequilibrios. Los postratamientos aplicados actualmente se han diseñado con el fin de adecuar las características del AMD a los requerimientos de calidad para consumo humano, recogidos en el RD 140/2003. Sin embargo, estos requerimientos no son los más adecuados para la agricultura, por lo que el uso de AMD conforme a los criterios de calidad del RD 140/2003 en el riego agrícola puede derivar en problemas agronómicos que afecten tanto a la productividad de los cultivos como a la calidad de las cosechas.

Estos problemas agronómicos ya se han puesto de manifiesto en Israel (Yermiyahu *et al.*, 2007; Ben-Gal *et al.*, 2009), donde las primeras experiencias de sustitución de agua de origen continental por AMD proveniente de las plantas de Ashkelon y Palmachim no están siendo plenamente satisfactorias. En estas experiencias se han detectado problemas agronómicos que afectan a la productividad de los cultivos, a los costes de fertirrigación y a la conservación de los suelos agrícolas, aspectos que pueden comprometer su viabilidad económica en el corto plazo y su sostenibilidad ambiental en el medio-largo plazo.

Esta comunicación realiza una revisión de los posibles problemas agronómicos y de gestión asociados al uso agrícola de AMD en base a los resultados de las primeras experiencias que se están publicando en el ámbito científico.

Material y Métodos

Por tratarse fundamentalmente de un trabajo de revisión, la metodología aplicada ha consistido en una exhaustiva revisión bibliográfica y estudio de casos anteriores de riego con AMD a nivel internacional. Dada la escasez de referencias relativas al uso de AMD en la agricultura, también se han considerado aquellos documentos relativos al uso de agua salobre desalinizada que plantean cuestiones de interés para este estudio.

Para la discusión de los resultados de la revisión bibliográfica en el ámbito geográfico del sureste español se han empleado fuentes de datos secundarias sobre la calidad de las aguas locales y de las plantas desalinizadoras de la zona. Finalmente, se ha complementado la información con entrevistas y comunicaciones personales de técnicos de las plantas productoras de AMD y de comunidades de regantes interesadas en su utilización.

Experiencias de riego con AMD

Aunque existe una amplia experiencia a nivel mundial en el uso de agua salobre desalinizada para la agricultura, el uso agrícola de AMD se limita a la última década y a regiones áridas y costeras con agricultura de alto rendimiento, donde la transferencia de agua desde las plantas desalinizadoras a los agricultores es estratégica y económicamente viable, o a pequeñas islas que carecen de fuentes de agua convencionales. Debido a estas limitaciones en el marco temporal y geográfico, el conocimiento científico sobre el riego de cultivos con AMD es todavía muy escaso. La revisión de las bases de datos científicas internacionales sólo ha evidenciado su

aplicación en España (Islas Canarias y sureste peninsular) e Israel. Mientras que la experiencia israelí se describe abundantemente en la literatura científica, la documentación sobre las experiencias españolas es mucho más escasa. La razón principal para esta escasez de información es que actualmente el AMD suministrada a los regadíos españoles carece de regularidad y es generalmente mezclada de forma minoritaria con otras fuentes de agua convencionales. Las experiencias de aplicación de AMD al riego agrícola se exponen a continuación.

España peninsular

La agricultura española ha sufrido históricamente una importante escasez de agua, que se ha acentuado en las regiones meridionales durante las últimas décadas. A mediados de la década de 1990, cuando tuvo lugar un periodo de sequía de 4 años, se instalaron más de 200 plantas desalinizadoras de aguas salobres en explotaciones agrícolas del sureste español. Sin embargo, la aprobación de la Directiva Marco del Agua y el consecuente mandato para proteger los acuíferos de la sobreexplotación recondujeron la estrategia hacia la instalación de grandes desalinizadoras de agua marina en la costa. En 2001, el gobierno español construyó la planta de Carboneras, con $44 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de capacidad y en prevista parcialmente para riego agrícola (Zarzo *et al.* 2013). Desde entonces, el número de plantas marinas ha ido en aumento en el litoral mediterráneo español.

En este sentido, el gobierno español aprobó el denominado Programa AGUA en el año 2004, cuya principal actuación fue la construcción de cerca de 20 nuevas desalinizadoras de agua marina para satisfacer los usos agrícolas, urbanos y turísticos. Este programa estaba destinado a producir un total de $693 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$, incluyendo cerca de $200 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ para consolidar el riego de alrededor de 10^5 ha de tierras de regadío. Este nuevo enfoque significó una reorientación de la política de aguas española hacia la desalación como alternativa a otras opciones como las transferencias de agua entre cuencas.

La situación actual es que algunas de estas plantas están en funcionamiento (e.g. Valdelentisco, $48 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de capacidad), otras plantas están en período de puesta en marcha (e.g., Torrevieja, $80 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de capacidad), y algunas en construcción (e.g. Campo de Dalías, $30 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de capacidad) o incluso sin utilizar (e.g. Andratx, $5 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ de capacidad). Con el desarrollo del Programa AGUA la capacidad anual de producción de AMD en España superaría los 1.000 Mm^3 , sin embargo las nuevas plantas desalinizadoras a lo largo de la costa mediterránea presentan poca actividad. Los principales impedimentos para su pleno funcionamiento son las dificultades para proporcionarles la potencia eléctrica requerida, la construcción de los emisarios de salmuera y, específicamente para el suministro agrícola, la limitación de los sistemas de distribución desde las plantas hasta las zonas regables.

Respecto a la aplicación de AMD al riego agrícola, aunque algunos agricultores y comunidades de regantes están adquiriendo dotaciones a través de acuerdos temporales, todavía no se ha establecido un mercado efectivo de AMD. Actualmente existe un enfrentamiento entre el gobierno y los agricultores sobre el precio agrícola del AMD. La asociación de regantes más importante en el sureste español (Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura, SCRATS) está dispuesta a incorporar importantes cantidades de AMD a sus decrecientes fuentes de suministro, pero

manifiestan que el precio actual resulta inabordable para la mayoría de las explotaciones agrícolas, proponiendo un "precio social" de 0,20 € m⁻³, aproximadamente un tercio de los costos totales de producción. Cabe señalar que la ausencia de las sequías desde 2008 puede justificar que las expectativas sobre la demanda agrícola de AMD no se hayan cumplido, pero la situación podría cambiar rápidamente ante un nuevo periodo de sequía.

Islas Canarias

Las Islas Canarias fueron el lugar donde se comenzó la desalinización de agua en España y en Europa, inicialmente para uso doméstico (1965) y más tarde para el riego de cultivos. La razón es que algunas de estas islas (e.g., Lanzarote) tienen un clima extremadamente árido y el AMD representa la única fuente de agua para riego, ya sea de forma directa o regenerada después del uso doméstico (Díaz *et al.* 2013). La primera planta de AMD para el riego (Las Salinas, 2,5 Mm³ año⁻¹ de capacidad) se construyó en 1987 para una superficie regable de 150 ha. Dos plantas más (Llanos de Juan Grande, 2,2 Mm³ año⁻¹ de capacidad; y Gáldar, 5,5 Mm³ año⁻¹ de capacidad) se construyeron para sociedades cooperativas de agricultores en 1988 y 1999, respectivamente (Zarzo *et al.* 2013). En la década de 1990 este crecimiento se aceleró y unos diez plantas de AMD fueron construidas con el único propósito de suministrar agua para riego, con una capacidad total alrededor de 25 Mm³ año⁻¹ (FAO 2006). La previsión del Gobierno de Canarias estableció una producción total de 188 Mm³ año⁻¹ de AMD para el año 2012.

Israel

Israel ha sufrido una escasez de agua extrema a largo de su historia, que ha obligado a buscar continuamente fuentes alternativas de agua para el desarrollo de su agricultura de regadío. Por este motivo, el riego con aguas subterráneas de calidad marginal se ha practicado en gran medida. Además, en la última década, la desalación de agua marina se ha convertido en una opción real para su agricultura, siendo el único país que ha adoptado criterios específicos que rigen la producción de AMD para uso agrícola (Lahav y Birnhack, 2007).

En 2005 y 2007 dos plantas de desalinización de agua marina (Ashkelon, 100 Mm³ año⁻¹ de capacidad; y Palmachim, 30 Mm³ año⁻¹ de capacidad) comenzaron a abastecer de agua a la región costera del sur de Israel. Aunque esas instalaciones fueron diseñadas para proporcionar agua para el consumo doméstico, debido a la relativamente baja densidad de población de la zona, un porcentaje sustancial del AMD se está suministrando a los agricultores, sustituyendo los recursos convencionales para riego. El seguimiento científico de estas experiencias de cultivo está dando lugar a resultados poco satisfactorios (Yermeyahu *et al.*, 2007; Ben-Gal *et al.*, 2009), lo que evidencia que el riego con AMD puede ser problemático y hay algunas cuestiones importantes a considerar en la planificación de su uso agrícola.

Cuestiones agronómicas a considerar en el riego con AMD

La incorporación de AMD a la agricultura puede producir efectos agronómicos muy diferentes, dependiendo de la calidad del agua de riego que se sustituye. Cuando el AMD, cuya conductividad eléctrica (CE) es generalmente inferior a 0,5 dS m⁻¹, sustituye a aguas de riego de baja calidad, se puede esperar un aumento de la productividad y la

calidad del rendimiento de los cultivos debido a la reducción de estrés por salinidad. Por otra parte, se puede conseguir una disminución significativa en las necesidades de riego, ya que la fracción de lavado se puede reducir drásticamente. Algunos ejemplos de estos efectos beneficiosos se han documentado para diferentes cultivos en España (Zarzo *et al.*, 2013) e Israel (Ben-Gal *et al.*, 2009).

Por otro lado, cuando se sustituyen aguas de buena calidad, la reducción de la CE del AMD no implica beneficio agronómico alguno, mientras que conlleva algunos riesgos agronómicos. Además de su baja mineralización, el AMD se caracteriza por una composición química muy diferente a las de las fuentes de agua convencionales. En la composición de sales del AMD predominan los iones sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-), presentando muy baja concentración de otros minerales como el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}) y el sulfato (SO_4^{2-}), así como alta concentración de elementos fitotóxicos como el boro (B). Por lo tanto, se puede afirmar que existe un problema agronómico asociado a los suministros de AMD para regadío, que debe abordarse específicamente, y que puede condicionar de forma sustancial la gestión del agua en la agricultura.

Carencia de nutrientes esenciales y efectos en la fertirrigación

Las aguas naturales, junto con el contenido mineral del suelo, generalmente proporcionan niveles de nutrientes esenciales como Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} suficientes para evitar su inclusión en los programas de fertilización. Por el contrario, las concentraciones de estos minerales en el AMD son significativamente inferiores a los valores recomendados para el riego agrícola, ya que el proceso de osmosis inversa no sólo separa las sales indeseables del agua, sino que también elimina minerales que son nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Por lo tanto, la sustitución de las fuentes de agua convencionales por AMD puede limitar el correcto desarrollo de los cultivos, afectando a la calidad y rendimiento de la producción, como ya ha ocurrido con cultivos de tomate, albahaca y flores en Israel (Yermeyahu *et al.*, 2007; Ben-Gal *et al.*, 2009). Para garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos, la falta de nutrientes esenciales (Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-}) puede remediarse mediante la adecuación de los programas de fertilización, pero representa un aumento en los costes de producción para los agricultores.

La Tabla 1 muestra los requerimientos nutricionales de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} característicos de los cultivos hortícolas del sureste español, así como la concentración típica de estos nutrientes en las aguas de riego convencionales del sureste español e Israel, y sus concentraciones en el AMD de varias plantas desalinizadoras de agua marina para suministro agrícola. Se observa que las necesidades de los cultivos están siendo satisfechas actualmente por el agua de riego, sobre todo en el sureste español. Es evidente que si se sustituyen estas aguas convencionales de riego por AMD habrá que incorporar una parte importante de las necesidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} mediante fertilizantes, especialmente en suelos de escasa mineralización y en cultivos sin suelo. En este sentido, Ben-Gal *et al.* (2009) indican que este incremento en el coste de fertirrigación es de 3.500 \$ ha^{-1} para cultivo de pimiento en invernadero.

Por lo tanto, cuando se planifica aplicar AMD en la agricultura es necesario reincorporar estos nutrientes esenciales en el agua de riego, planteándose tres posibles alternativas: (1) se pueden añadir en los postratamientos de la planta desalinizadora; (2) pueden ser

añadidos por los agricultores mediante fertilizantes; o (3) se pueden incorporar mediante la mezcla del AMD con otras aguas naturales de elevada mineralización. Estas posibles opciones deben evaluarse económicamente ya que dependiendo de la estrategia seleccionada los costes de remineralización se trasladan de los productores de AMD a los agricultores.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de Ca^{2+} , Mg^{2+} y SO_4^{2-} característicos de los cultivos hortícolas, concentración típica de estos nutrientes en las aguas de riego convencionales del sureste español e Israel, y sus concentraciones en el AMD de varias plantas desalinizadoras.

Cultivos	Necesidades de Ca^{2+} (mg L ⁻¹)	Necesidades de Mg^{2+} (mg L ⁻¹)	Necesidades de SO_4^{2-} (mg L ⁻¹)
Cultivos hortícolas (1)	80-120	24-36	100-150
Aguas de riego convencionales	Concentración de Ca^{2+} (mg L ⁻¹)	Concentración de Mg^{2+} (mg L ⁻¹)	Concentración de SO_4^{2-} (mg L ⁻¹)
Sureste de España(2)	90-110	35-45	200-350
Israel (3)	45-60	20-25	60-80
AMD de diferentes plantas	Concentración de Ca^{2+} (mg L ⁻¹)	Concentración de Mg^{2+} (mg L ⁻¹)	Concentración de SO_4^{2-} (mg L ⁻¹)
AMD1 (4)	29	4,3	6,6
AMD2 (5)	4,2	5,5	14,4
AMD3 (6)	32-34	0	0
AMD4 (7)	40-46	0	60-80

(1) Datos representativos para cultivos hortícolas en el sureste español; (2) Datos de cerca de 50 comunidades de regantes del sureste español; (3) Yermiyahu *et al.* (2007); (5) Planta desalinizadora de Torrevieja, datos de Julio de 2014; (6) Planta desalinizadora de Punta de los Vientos (Islas Canarias, Díaz *et al.*, 2013); (7) Planta desalinizadora de Hedara en Israel (Lahav *et al.*, 2010); (8) Planta desalinizadora de Ashkelon en Israel (Yermiyahu *et al.*, 2007)

Fitotoxicidad por boro

El boro es un micronutriente esencial para las plantas, que necesitan pequeñas cantidades para su crecimiento y desarrollo, pero que puede llegar a ser muy tóxico si la cantidad es ligeramente superior a la requerida. Los efectos fisiológicos adversos del exceso de boro en las plantas se han revisado extensamente (Hilal *et al.*, 2011), implicando la reducción de la división celular, con el consiguiente retraso en el crecimiento de brotes y raíces, la inhibición de la fotosíntesis, la deposición de lignina y suberina, la disminución de la clorofila en las hojas, etc.

La concentración de boro en el AMD es mayor que en aguas convencionales, de tal manera que el riego con AMD puede aumentar el contenido de boro del suelo sustancialmente, provocando problemas de toxicidad que conducen a la disminución de rendimientos en cultivos sensibles, como ha ocurrido en Israel con concentraciones de boro de 0,6, 1,2 y 2,0 mg L⁻¹ (Yermeyahu *et al.*, 2007). El alto contenido de boro en el AMD se debe a (1) su alta concentración en el agua marina (4,5-6 mg L⁻¹) en relación con las aguas naturales (0 a 1,5 mg L⁻¹); y (2) el hecho de que una gran parte de boro

en el agua de mar toma la forma de ácido bórico (H_3BO_3), sin carga iónica, por lo que presenta menor separación en las membrana de osmosis inversa que los iones. Por lo tanto, es necesario considerar tecnologías específicas para la reducción de boro en plantas desalinizadoras para la agricultura, como la incorporación de una segunda etapa de osmosis inversa o el uso de resinas de intercambio iónico. En ambos casos, la inversión y el coste por metro cubico de AMD aumenta (Shaffer *et al.*, 2012).

Hay distintas clasificaciones de los cultivos en función de su tolerancia al boro (Hilal *et al.*, 2011). La regulación del contenido de boro en el AMD varía en cada país. La recomendación israelí ($0,3 \text{ mg L}^{-1}$) protegería incluso los cultivos más sensibles, mientras que en España el requisito de las nuevas plantas desalinizadoras del Programa AGUA es de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Zarzo *et al.*, 2013), que es claramente un requisito del sector agrícola debido a que la norma de agua potable en España es de 1 mg L^{-1} . Este límite de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ puede resultar inadecuado para algunos cultivos del sureste español como los cítricos.

Fitotoxicidad por Cl^- y Na^+

En el agua marina el 55% y 31% de contenido de sal son Cl^- y Na^+ , respectivamente. Después del proceso de osmosis inversa estos iones todavía predominan en la composición del AMD y pueden producir fitotoxicidad en cultivos sensibles. La mayoría de los cultivos leñosos son sensibles a concentraciones elevadas Cl^- y Na^+ , mientras que los cultivos anuales no son tan sensibles.

El Cl^- y Na^+ también pueden ser absorbidos directamente por las hojas durante el riego por aspersión, causando daño foliar. El riesgo de toxicidad al Na^+ se reduce si el agua de riego presenta altas concentraciones de Ca^{2+} , por lo que una evaluación razonable de la toxicidad potencial al Na^+ debe realizarse utilizando la relación de adsorción de sodio (RAS) del agua de riego, según se analiza en el siguiente epígrafe.

Las concentraciones de Cl^- y Na^+ en el AMD de plantas españolas ($0,56 \text{ mg L}^{-1}$ para AMD1 y $0,76 \text{ mg L}^{-1}$ para AMD2, Tabla 1) representan un riesgo moderado que podría afectar a los cultivos sensibles en su área de influencia. Los valores en las plantas israelíes son mucho más bajos (por debajo de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ en DSW3 y DSW4, la Tabla 1), de acuerdo con los valores máximos recogidos en las recomendaciones israelíes.

Experiencias a medio-largo plazo con AMD en Lanzarote (Díaz *et al.*, 2013) indican un aumento significativo en los niveles de salinidad y la concentración de Na^+ en el suelo tras un período de riego de 20 años, lo que indica que la sostenibilidad a largo plazo de estos sistemas de cultivo requiere (1) sustancial mejoras en la calidad AMD y (2) el aumento de las fracciones de lavado en la programación del riego para evitar acumulaciones de sal en la zona radicular de los cultivos.

Riesgo de sodificación de suelos

Entre los riesgos potenciales asociados al riego con AMD está la degradación de la estructura del suelo por alcalinización, que afecta en gran medida al rendimiento de los cultivos. Aparte de los efectos directos por fitotoxicidad, la concentración de Na^+ puede producir efectos adversos en las propiedades físicas del suelo en forma de dispersión de arcilla, dando lugar al deterioro de la estabilidad de los agregados; a la disminución de la conductividad hidráulica del suelo; al aumento de la formación de costras en

superficie, incrementando la escorrentía y la erosión del suelo; a la compactación del suelo; y a la disminución de la aireación del suelo (Muyen *et al.*, 2011).

Un indicador cuantitativo del riesgo de sodificación del suelo es la relación de adsorción de sodio (RAS), que se calcula a partir de las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en el agua de riego. Los valores de RAS y la CE deben considerarse simultáneamente para evaluar el riesgo de sodificación del suelo (Ayers y Westcot, 1985).

El RAS en agua marina está por encima de 10. El agua marina osmotizada presenta altas concentraciones de Na^+ , junto con muy baja o ninguna de Ca^{2+} y Mg^{2+} , por lo que generalmente resulta en valores del RAS entre 9 y 10. Los post-tratamientos en planta desalinizadora pueden añadir Ca^{2+} y Mg^{2+} , disminuyendo el RAS en función de su intensidad. Para aguas de riego con baja concentración de sólidos disueltos totales, como ocurre con el AMD, se recomienda un $\text{RAS} < 3$ (Ayers y Westcot, 1985). En las plantas desalinizadoras de agua marina españolas el RAS se encuentra alrededor de 6 (5.5 para AMD1 y 6.8 para AMD2, Tabla1), implicando un riesgo de sodificación del suelo moderado. En cuanto a las plantas de desalinización de Israel, el restrictivo umbral de concentración de Na^+ recogido en sus recomendaciones para uso agrícola de AMD conduce a valores de RAS cercanos a cero (0.4 para AMD3 y 0.5 para AMD4, Tabla 1), lo que minimiza el riesgo de sodificación de suelos. A partir del conocimiento acumulado en Israel (Lahav *et al.*, 2010), parece que el riego con valores de RAS de entre 4 y 5,5 es probablemente aceptable (aunque no ideal), mientras que el uso a largo plazo de los valores de RAS de 6 o superiores dará lugar a un deterioro de las propiedades del suelo.

Por lo tanto, el riego con AMD requiere una vigilancia continua del suelo para detectar cualquier degradación de su estructura. Si se presenta el problema, debe ser abordado con prácticas de manejo adecuadas, tales como el aumento de la fracción de lavado en la programación del riego o la aplicación de enmiendas de Ca^{2+} . Cabe señalar que el riesgo de sodificación es más importante en suelos con contenido significativo de arcilla, mientras que en suelos arenosos el valor del RAS es menos crítico. Del mismo modo, en las zonas donde el suelo se lava regularmente por el agua de lluvia, el impacto de valores altos del RAS es menor (Duranceau *et al.*, 2011).

Baja alcalinidad y capacidad tampón

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del agua, es decir, de la capacidad de las bases para neutralizar los ácidos. Las aguas con baja alcalinidad son muy susceptibles a cambios en el pH ya que carecen de capacidad tampón. La alcalinidad también está directamente relacionada con la dureza del agua, que se determina por la concentración de cationes multivalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Las membranas de ósmosis inversa son muy eficientes en la eliminación de bicarbonatos y carbonatos, así el agua marina osmotizada se caracteriza por un pH muy bajo y prácticamente nula alcalinidad y dureza del agua, llegando a ser incluso agresiva hacia los componentes de los sistemas de distribución de agua (Duranceau *et al.*, 2011). Para evitar la inestabilidad química del AMD antes de su incorporación a los sistemas de suministro, se debe incrementar la alcalinidad y dureza del agua en la etapa de post-tratamiento (Birnhack *et al.*, 2010).

Se recomiendan valores de alcalinidad altos en el AMD para riego agrícola por varias razones: (1) para reducir la corrosión en los elementos metálicos de los sistemas de distribución, tales como tubos de metal, válvulas y dispositivos; (2) para evitar la corrosión de las tuberías, que produce mayores pérdidas de carga y descarga de los iones metálicos en el agua; y (3) para estabilizar el pH cuando se añadan fertilizantes ácidos o básicos. Esta última cuestión es especialmente relevante para la agricultura, ya que el AMD puede causar cambios repentinos en el pH durante la adición de fertilizantes y puede tener un profundo impacto en la disponibilidad de nutrientes y, en última instancia, en la productividad agrícola (Yermeyahu *et al.*, 2007). Por otra parte, en los sistemas de riego que han distribuido aguas duras durante largos períodos la formación de incrustaciones de carbonato cálcico es habitual, y el cambio a aguas excesivamente blandas podría desprender estas incrustaciones, afectando a filtros y contadores volumétricos, e incluso provocando el bloqueo de la tubería.

Por todas las razones anteriores, el criterio de calidad para uso agrícola del AMD de Israel establece un nivel de alcalinidad mínima recomendada de 80 mg L^{-1} como CaCO_3 , y un pH lo más alto posible, aunque siempre por debajo de 8,5 (Lahav y Birnhack, 2007). Además, para controlar el potencial del AMD para precipitar o disolver carbonato cálcico, se recomienda un Potencial de Precipitación de Carbonato de Calcio (CCPP) entre 3 y 10, lo que significa un ligero potencial de precipitación de carbonatos, garantizando la estabilidad de las incrustaciones existentes.

Las aguas AMD consideradas en este estudio (AMD1, AMD2, AMD3, AMD4) presentan valores de pH adecuados para la agricultura, pero con unos niveles de alcalinidad que generalmente están por debajo de las recomendaciones israelíes, lo que indica que los procesos de post-tratamiento deben intensificarse en los suministros de AMD para uso agrícola.

Conclusiones

Manteniendo al margen los aspectos económicos, es evidente que la desalinización de agua salobre o marina puede aumentar la disponibilidad de recursos hídricos para la agricultura. La necesidad de proteger los acuíferos de la sobreexplotación, y el hecho de que el AMD pueda considerarse un recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas, hace que esta última opción resulte actualmente más interesante para el suministro de agua a los regadíos situados en zonas costeras. Por tanto, el AMD comienza a vislumbrarse como una alternativa técnicamente viable para el riego de cultivos de alto valor económico en zonas costeras, a pesar de su elevado coste energético y de las elevadas tasas de emisiones de gases efecto invernadero asociadas a su producción.

La revisión a escala global de las principales experiencias de riego agrícola con agua desalinizada pone de manifiesto que, en numerosos países con clima árido o semiárido y que además disponen de una agricultura altamente tecnificada, la desalinización de aguas salobres representa una fuente de agua suplementaria para la agricultura desde hace varias décadas. Sin embargo, a pesar de que hay ciertos países donde se está considerando la posibilidad de aplicar AMD al riego agrícola en un futuro próximo, sólo se han encontrado referencias de su aplicación en Israel y España. Cabe señalar que mientras en Israel se está realizando un seguimiento científico adecuado de la

problemática asociada al riego con AMD, en la España peninsular no se ha encontrado ningún trabajo que ponga de manifiesto este seguimiento.

De la experiencia israelí se concluye que, al margen de las consideraciones económicas, hay aspectos de notable relevancia agronómica que deben ser considerados a la hora de plantear el uso de AMD para riego agrícola. Varios estudios concluyen que la baja CE del agua desalinizada puede mejorar sensiblemente la productividad y calidad de los cultivos cuando se compara con aguas de mala calidad, pero no tiene ningún efecto mejorante cuando se sustituyen aguas continentales de buena calidad. Estos estudios también evidencian que las primeras experiencias con un adecuado seguimiento científico no están siendo satisfactorias. Así, la sustitución de recursos hídricos naturales con AMD en Israel ha puesto de manifiesto efectos perjudiciales sobre la productividad de los cultivos, los costes de fertirrigación y la conservación de los suelos agrícolas, aspectos que pueden afectar a su viabilidad económica en el corto plazo y a su sostenibilidad ambiental en el medio-largo plazo.

Diversos autores señalan que el suministro de AMD con bajos niveles de mineralización y alcalinidad es frecuente dada la necesidad de minimizar los costes de los postratamientos y la ambigüedad de criterios de calidad existentes. Por tanto, con el fin de evitar problemas asociados a la escasa mineralización del agua desalinizada para uso agrícola, deben proponerse criterios agronómicos de calidad a alcanzar tras el proceso de remineralización. Para este complejo objetivo se propone la constitución de un comité multidisciplinar que aborde esta cuestión para la singularidad del regadío español, de forma similar a como ya se ha hecho en Israel. El cumplimiento de unos estándares de calidad minimizaría los riesgos de carencias nutricionales y toxicidad que pudieran afectar a la producción y calidad de los cultivos.

También hay que destacar que las instalaciones de desalinización que se destinen a satisfacer las necesidades del regadío en el sureste español estarán en funcionamiento durante décadas, por lo que la correcta planificación y gestión de los aspectos relativos a la calidad del agua producto es fundamental para garantizar la sostenibilidad y productividad de la agricultura de regadío a largo plazo.

Finalmente, se puede concluir que todos los problemas técnicos asociados al uso de AMD para el riego agrícola (adecuación nutricional a los requerimientos de los cultivos, toxicidad al boro, efectos sobre la estructura del suelo, efectos sobre las instalaciones de distribución, etc.) se pueden resolver mediante una correcta regulación de este tipo de suministros, que normalice la calidad a conseguir con los postratamientos, y optimice su gestión conjunta con otros recursos hídricos disponibles de origen continental. El desarrollo y aplicación de estas regulaciones específicas puede provocar costes adicionales a los de la desalinización propiamente dicha, que deben ser identificados y cuantificados con el fin de valorar la viabilidad económica de cada suministro, dado que el coste final sigue siendo el principal factor limitante para la generalización de la aplicación de AMD al riego agrícola.

Agradecimientos

Este trabajo sintetiza en contenido del estudio “Antecedentes y problemática de la aplicación de aguamarina desalinizada al riego agrícola”, financiado por el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) y disponible en <http://www.scrats.es/memorias-e-informes.html>.

Bibliografía

- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Calatrava, J., Martínez-Granados, D., 2012. El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 12, 5-32.
- Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Cohen, S., 2009. Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *J. Environ. Qual.* 38, 529–536.
- Birnhack, L., Shlesinger, N., Lahav, O., 2010. A cost effective method for improving the quality of inland desalinated brackish water destined for agricultural irrigation. *Desalination* 262, 152–160.
- Díaz, F.J., Tejedor, M., Jiménez, C., Grattanb, S.R., Dorta, M., Hernández, J.M., 2013. The imprint of desalinated seawater on recycled wastewater: Consequences for irrigation in Lanzarote Island, Spain. *Agric. Water Manage.* 116, 62–72.
- Duranceau, S.J., Pfeiffer-Wilder, R.J., Douglas, S.A., Peña-Holt, N., Watson, I.C., 2011. Post-treatment stabilization of desalinated water. Water Research Foundation, Denver.
- FAO, 2006. Water desalination for agricultural applications. Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications. Eds. Beltrán JM, Koo-Oshima S. Food and Agriculture Organization, Roma.
- Hilal, N., Kim, G.J., Somerfield, C., 2011. Boron removal from saline water: a comprehensive review. *Desalination* 273, 23–35.
- Lahav, O., Birnhack, L., 2007. Quality criteria for desalinated water following post treatment. *Desalination* 207, 286–303.
- Lahav, O., Kochva, M., Tarchitzky, J., 2010. Potential drawbacks associated with agricultural irrigation with treated wastewaters from desalinated water origin and possible remedies. *Water Sci. Technol.* 61, 2451–2460.
- Lapiente, E., 2012. Full cost in desalination. A case study of the Segura River Basin. *Desalination* 300, 40–45.
- Martin-Gorrioz, B., Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V., 2014. Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain. Effects of alternative water supply scenarios. *Energy* 77, 478-488.
- Muyen, Z., Moore, G.A., Wrigley, R.J., 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Ag. Water Manage.* 99, 33–41.
- Shaffer, D.L., Yip, N.Y., Gilron, J., Elimelech, M., 2012. Seawater desalination for agriculture by integrated forward and reverse osmosis: Improved product water quality for potentially less energy. *J. Membrane Sci.* 415–416, 1–8.
- Yermiyahu, U., Tal, A., Ben-Gal, A., Bar-Tal, A., Tarchitzky, J., Lahav, O., 2007. Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science* 318, 920–921.
- Zarzo, D., Campos, E., Terrero, P., 2013. Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalin. Water Treat.* 51, 53–66.

R02 - Influencia del caudal de rotura y la rugosidad del terreno en la clasificación de balsas según su peligrosidad

Rocamora Mora, Y.¹; Abadía Sánchez, R.¹

¹Departamento de Ingeniería. Universidad Miguel Hernández, Ctra de Beniel, km 3,2. 03312. Orihuela Alicante. yolanda.rocamora@graduado.umh.es; abadia@umh.es

Resumen

Desde la aprobación del Real Decreto 9/2008 de 11 de enero de por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, las balsas de almacenamiento de agua que tengan más de 5 metros de altura de dique o más de 100.000 m³ de capacidad, tienen que ser clasificadas según su tamaño como gran presa o pequeña presa, y según el riesgo potencial en caso de rotura como tipo A, B o C, en función de que sean daños graves, moderados o leves, lo que implica la realización de un estudio de inundabilidad. El estudio de inundabilidad contempla una simulación hidráulica de la rotura del talud de contención de la balsa para determinar la zona inundable en caso de rotura y la peligrosidad de la avenida de agua ocasionada por dicha rotura, siendo el calado y la velocidad del agua los parámetros hidráulicos utilizados para determinar dicha peligrosidad. Para una balsa concreta, los factores que afectan por tanto al resultado de dicha simulación hidráulica, son los modelos de cálculo del caudal de rotura empleados así como la rugosidad de la zona de inundación considerada en la simulación. En este trabajo se realiza un estudio de la influencia de cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura y dos tipos de rugosidades (genérica y específica) en la zona de inundación, sobre el calado y la velocidad del agua, en cuatro secciones de la zona de inundación. Para ello se ha empleado el programa de simulación bidimensional IBER, aplicado a la simulación de la rotura de una balsa de 375000 m³ de capacidad y una altura máxima de talud de 21 m. Finalmente, se cuantifica el efecto que pueden tener los modelos empleados en la clasificación de la balsa según el riesgo potencial en caso de rotura.

Palabras clave: simulación hidráulica, inundabilidad, daños, riesgo potencial

Influence of terrain roughness and flow of breakage on the reservoirs classification according to its danger

Abstract

Since the approval of Royal Decree 9/2008 of 11 January by which the Regulation of the Hydraulic Public Domain is modified, reservoirs of water storage which have more than 5 meters of dam height or more than 100000 m³ of capacity, have to be classified according to their size as large dam or small dam and the potential risk in case of breakage as type A, B or C, depending on which are serious, moderate or mild damage, which implies a study of flood risk. The study of flood risk includes a hydraulic simulation of the dam breakage to determine flooded area in case of breakage and the danger of the water avenue caused by such breakage, being the depth and the speed of water the hydraulic parameters used to determine the degree of danger. For a concrete reservoir, the factors that affect the outcome of the hydraulic simulation are the model used for break flow calculation as well as the roughness of the flooding area considered in the simulation. In this work the influence of four calculating model of breakage flow and two types of roughness (average and specific) on the flood zone over the depth and the speed of the water, is studied in four sections of the flood zone. The two-dimensional simulation program IBER, has been applied to the simulation of a dam breakage of a reservoir of 375000 m³ and a maximum dam height of 21 m. Finally, the effects of the used models analyzed on the dam classification, according to the potential risk in case of breakage, have been quantified.

Keywords: Hydraulic simulation, flooding, damage, potential risk.

Introducción

Las balsas de almacenamiento de agua para usos agrícolas están construidas utilizando el terreno natural procedente de la propia excavación para la formación de los diques de

cierre, los cuales se impermeabilizan con geomembranas sintéticas, siendo las más habituales las láminas de PEAD (polietileno de alta densidad) y de Caucho EPDM (caucho de etileno-propileno-monómero diénico). A diferencia de las presas y embalses que se ubican en los cauces de ríos y ramblas, se ubican donde se necesitan junto a las zonas de consumo y fuera de los cauces públicos, por lo que no reciben aportaciones de aguas de escorrentía. Se utilizan para almacenamiento y regulación de agua de riego, estando asociadas a los sistemas de riego modernizados. No existe un registro actualizado del número de balsas existente en España, pero se estima entre 80.000 y 100.000 (Gonzalez Ortega *et al.*, 2009), ya que en los últimos años ha proliferado mucho su construcción dada la gran inversión realizada en modernización de regadíos, su facilidad de construcción, su bajo coste así como la posibilidad de ubicarlas en las zonas de consumo.

El estudio del riesgo de inundación motivado por la rotura de las balsas, ha adquirido en España una gran relevancia desde la aparición del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. En dicho Real Decreto se define la “balsa” como una “Obra hidráulica consistente en una estructura artificial destinada al almacenamiento de agua situada fuera de un cauce y delimitada, total o parcialmente, por un dique de retención” (artículo 357c), y obliga a todos los titulares de balsas de más de 5 metros de altura de dique o capacidad superior a 100.000 m³, a solicitar su clasificación y registro ante la administración pública competente (artículo 367.1).

La clasificación se hace en función de las dimensiones de la balsa y del riesgo potencial en caso de rotura. En función de las dimensiones se considera gran presa o pequeña presa, considerándose gran presa aquella que tenga más de 15 m de altura o que teniendo una altura entre 10 y 15 m su capacidad sea superior a 1 hm³, y pequeña presa aquella que no cumple las condiciones de gran presa. En función del riesgo potencial derivado de una rotura o funcionamiento incorrecto, se clasifican en tres categorías, categoría A, categoría B y categoría C, perteneciendo a la categoría A las presas cuya rotura puede afectar gravemente a núcleos urbanos y producir daños muy graves, la B las que puede afectar a un número reducido de viviendas y producir daños importantes y la C las que pueden ocasionar daños de moderada importancia (artículo 358). Por tanto, para poder solicitar la clasificación y registro de las balsas, los titulares de deben presentar a la administración pública competente una propuesta razonada de clasificación, lo que implica la realización de un estudio de inundabilidad en que se valoren los daños potenciales en caso de rotura o funcionamiento incorrecto.

Las metodologías de cálculo empleadas para la determinación de los parámetros necesarios para realizar la clasificación de las balsas en función de su riesgo potencial en caso de rotura, están orientadas a embalses, que están ubicados en cauces y suelen tener presas de hormigón o de materiales sueltos sin membranas impermeabilizantes. Un ejemplo de ello es la metodología recomendada por las guías técnicas elaboradas por el ministerio de medio ambiente (MMA, 1996; MMA, 2001), en donde se dan unas fórmulas para el cálculo del tiempo de formación de la brecha de rotura y su anchura, así como fórmulas para el cálculo del caudal máximo de rotura y metodologías de simulación de la zona de inundación. Las fórmulas recomendadas en la citada guía para el cálculo del tiempo de rotura dan lugar a tiempos muy pequeños, contemplando únicamente formas de rotura trapecial, mientras que en el caso de balsas de riego

impermeabilizadas con geomembranas es más frecuente la rotura por tubificación, produciéndose en algunos casos el posterior colapso completo del dique lo que alarga considerablemente el tiempo de rotura (Pons Castelló y Zapata Raboso, 2009). Se debe tener en cuenta que los caudales punta obtenidos son muy sensibles al tiempo de rotura, por lo que en muchos casos la simulación que se realiza da lugar a caudales muy elevados y por tanto daños muy graves, cuando en la mayoría de los casos en los que hay registro de rotura de este tipo de diques, los tiempos de rotura han sido muy superiores y por tanto los caudales y los daños inferiores (Pons Castelló y Zapata Raboso, 2009). Además las fórmulas propuestas para el cálculo del caudal de rotura están recomendadas para presas de materiales sueltos que no tienen en cuenta el efecto de contención que produce la geomembrana impermeabilizante empleada en las balsas.

Para realizar el estudio de inundabilidad se debe calcular en primer lugar el caudal de rotura que da lugar a la inundación, obteniendo posteriormente el hidrograma de rotura. A partir de dicho hidrograma y en función de las características topográficas, uso y estado de la superficie del suelo, se realiza la simulación hidráulica en la zona de inundación, determinando el alcance de la zona inundada como consecuencia de la rotura, siendo necesario obtener el calado y la velocidad del agua en la zona afectada, para poder determinar la peligrosidad de la inundación.

Para determinar la peligrosidad de la inundación, la Guía Técnica de Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial (MMA, 1996) da dos tipos afecciones a vidas humanas en función del calado y la velocidad, según la zona de inundación esté situada en un área de viviendas/núcleos urbanos, o por el contrario se trate de áreas en campo abierto, tal y como se aprecia en la Figura 1.

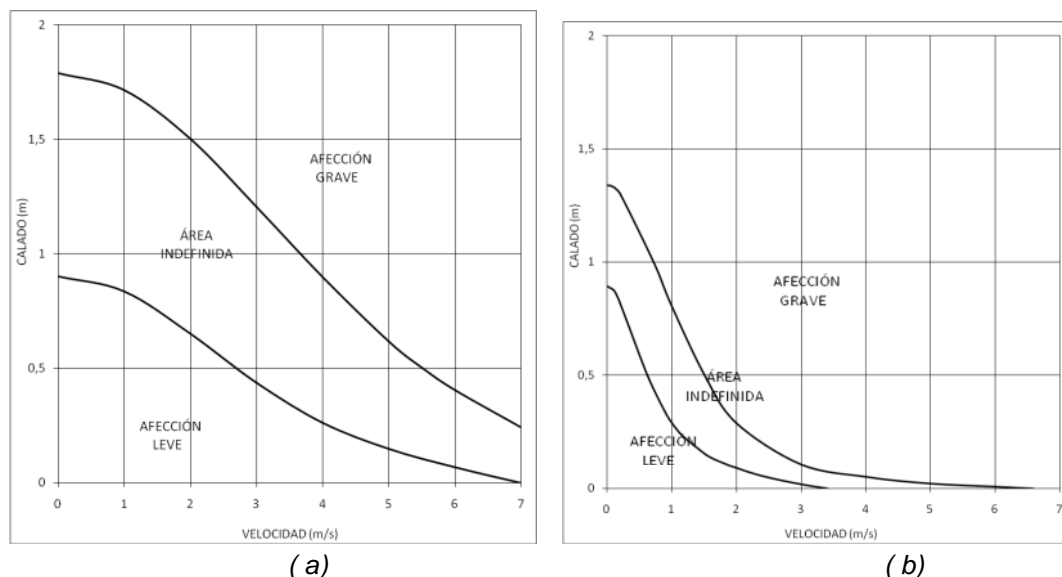


Figura 1. Riesgo para vidas humanas en función del calado y la velocidad: (a) En viviendas/núcleos urbanos; (b) En campo abierto

Por otro lado, el artículo 9 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/86, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la ley 29/85, de 2 de agosto, de aguas) considera que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes en la zona de policía de los cauces, cuando las condiciones hidráulicas

durante avenidas para un periodo de retorno de 100 años, satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) Que el calado sea superior a 1 m.
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

Si representamos estos límites de calado y velocidad en los gráficos mostrados en la Figura 1, se puede comprobar que el criterio a la hora de considerar “daños graves” dado en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH) para avenidas en cauces, es más restrictivo que el dado para rotura de diques en la Guía Técnica de Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial (MMA, 1996). En la Figura 2 se representan las curvas de peligrosidad con los límites de peligrosidad dados en el RDPH, destacando la zona sombreada en la que se consideraría como zona de “daños no graves”, y fuera de la zona sombreada, se considerarían daños graves.

Otro parámetro que afecta a la velocidad y el calado de agua es la rugosidad de la superficie de inundación, la cual se analiza según el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, ya que se emplea la ecuación de Manning para realizar la simulación hidráulica de la onda de inundación. A efectos de cálculo de la avenida, se debe obtener un coeficiente de rugosidad de Manning en cada zona en la que cambie la rugosidad de la superficie del suelo. No obstante, en zonas agrícolas con cierta homogeneidad de cultivos, es frecuente adoptar un mismo coeficiente de rugosidad para toda la zona afectada con el fin de simplificar su determinación pormenorizada.

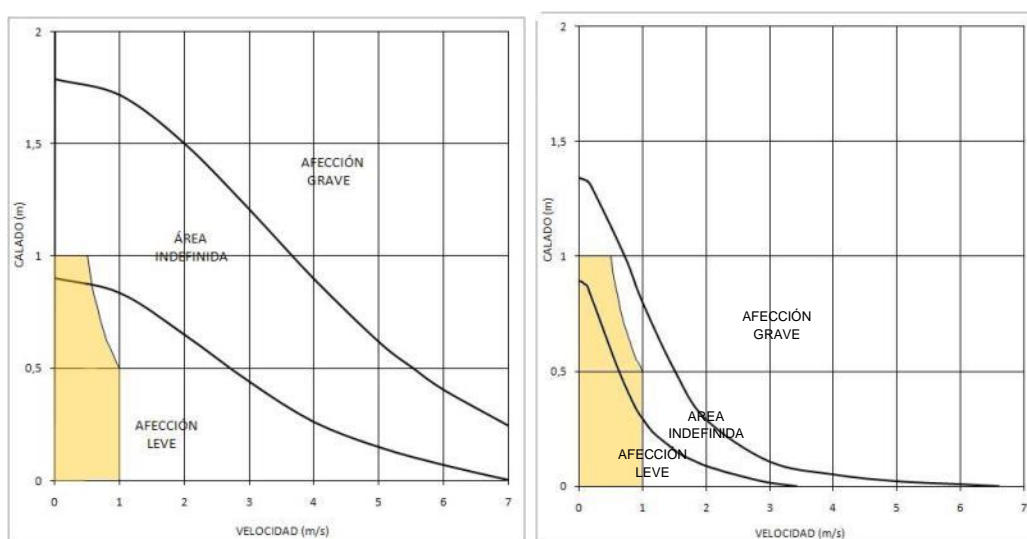


Figura 2. Curvas de Riesgo para vidas humanas con los límites del RDPH sombreado

En cuanto a los modelos de simulación hidráulica de la onda de inundación, en las guías técnicas elaboradas por el ministerio de medio ambiente (MMA, 1996; MMA, 2001), se recomiendan los modelos Dambreak (DAMBRK) y Dambreak simplificado (SIMPDBK), así como simplificaciones de los mismos. Se trata de modelos de tipo unidimensional, aptos para las presas y embalses ubicados en un cauce, en los que la onda de rotura se propaga a lo largo del cauce en una única dimensión. Por el contrario, en el caso de las balsas, la onda de rotura se propaga por terreno agrícola de cultivo, lo que exige modelos bidimensionales. Para estos casos, es mucho más preciso el empleo del modelo IBER, que es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo

en lámina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios (CEDEX, 2012), impulsado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

La aplicación de una metodología u otra para la determinación del riesgo en caso de rotura, puede cambiar el tipo de clasificación de una balsa, pasando de categoría C a categorías B o A. En caso de que una balsa se clasifique como Categoría A o B, supone la necesidad de establecer un plan emergencia, tal y como se establece en el artículo 5.3.1.4 de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, ocasionando un grave perjuicio económico para sus titulares, que en muchos casos supone un incremento del coste de producción que no puede ser asumido por la escasa rentabilidad de la actividad agrícola.

En este trabajo se realiza un estudio de la influencia de cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura de una balsa y dos tipos de rugosidades en la zona de inundación, sobre el calado y la velocidad del agua en la zona de inundación, determinando el efecto que pueden tener sobre la clasificación de la balsa según el riesgo potencial en caso de rotura.

Material y Métodos

Características de la balsa y la zona de inundación

La balsa empleada en el estudio tiene un volumen de 375.000 m³ de capacidad y una altura máxima de dique de 21 m. El dique de contención es de tierra compactada, con pendiente exterior 1V:1,5H y pendiente interior de 1V/2,5H, impermeabilizado con lámina de Polietileno de alta densidad. La balsa está situada en la Región de Murcia, a una distancia de unos 5800 m del mar mediterráneo, en el Huso 30, coordenadas UTM_X: 628.687 UTM_Y: 4.147.243 (Datum:ETRS89), estando el camino de coronación a 240,5 m sobre el nivel del mar.

La zona de inundación tiene una longitud de unos 6400 m hasta la desembocadura en el mar, y está formada por terrenos de cultivo al aire libre y en invernadero, con un núcleo aislado de menos de 10 viviendas. La pendiente media de la zona de inundación es del 3,6%. La zona está atravesada por una carretera comarcal de tercer nivel.

En la zona de inundación se ha analizado el caudal y la velocidad en 4 áreas de afección, teniendo estas áreas las siguientes características:

- Área A1: se trata de una zona situada a unos 1500 m de la balsa, y está formada por terreno de cultivo en invernadero existiendo una caseta de riego. La pendiente media desde la balsa hasta la zona es del 5,437%.
- Área A2: se trata de una zona situada a unos 3000 m de la balsa, formada por 3 viviendas rurales, casetas de aperos y un invernadero. La pendiente media desde la balsa hasta la zona es del 4,52%, siendo la pendiente media del tramo existente desde el área 1 al área 2 del 3,6%.
- Área A3: zona situada a unos 4060 m de la balsa en donde la zona de inundación está atravesada por una carretera comarcal. La pendiente media

desde la balsa hasta la zona es del 4,24%, siendo la pendiente media del tramo existente desde el área 1 al área 2 del 3,45%.

- Área A4: zona situada a unos 6230 m de la balsa y está formada por terreno de cultivo al aire libre que dista unos 170 m de la desembocadura en el mar. La pendiente media desde la balsa hasta la zona es del 3,79%, siendo la pendiente media del tramo existente desde el área 1 al área 2 del 2,96%.

En la Figura 3 se puede ver la ubicación de la balsa y de las cuatro áreas de afección consideradas en el análisis.



Figura 3. Situación de la balsa y de las zonas de afección consideradas en el análisis

Simulación de la rotura

Los cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura empleados (Q1, Q2, Q3 y Q4), son el modelo Dambreak simplificado (Wetmore y Fread, 1981), el modelo del caudal medio, el modelo de Hagen (MMA, 1996) y el modelo de Froehlich (Froehlich, 1995, 2008).

El modelo Simplificado de Dambreak empleado para el cálculo del caudal máximo de rotura (Q1), calcula el caudal punta desaguado en la presa en función del volumen de embalse y de la descripción geométrica y temporal de la brecha. El caudal máximo (m^3/s) viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_m = 0,288 \cdot b \cdot \left(\frac{C}{T + \frac{C}{1,8113 \cdot (h)^{0,5}}} \right)^3 \quad (1)$$

Siendo: - b: ancho medio de la brecha, en m. Se calcula mediante:

$$b = 20 \cdot (V \cdot h)^{0,25} \quad (2)$$

- h: altura máxima del talud, en m.

- V: volumen de la balsa, en m^3 .

- C: coeficiente dependiente del ancho de brecha y del área de lámina (A_s). Se calcula mediante:

$$C = 0,0017624 \cdot \frac{A_s}{b} \quad (3)$$

- T: tiempo de rotura del dique, en h. Se calcula mediante:

$$T = \frac{4,80 \cdot V^{0,5}}{h} \quad (4)$$

El modelo de caudal medio, Q2, se obtiene directamente, a partir del volumen de la balsa y del tiempo de rotura, calculado con la ecuación 4. Supone que la balsa desagua totalmente durante el tiempo de rotura, con un caudal constante. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{V(m^3)}{T(s)} \quad (5)$$

El modelo de Hagen, Q3, obtiene el caudal punta de la onda de rotura en función del volumen de embalse y de la altura de la presa sobre cimientos, mediante la ecuación siguiente:

$$Q_m = K \cdot (V \cdot h)^{0,5} \quad (6)$$

Siendo: - K = constante (780 para presas bóveda y 550 para los restantes casos)

- V = volumen de embalse, en hm³.

- h = altura de presa sobre cimientos, en m.

Finalmente, el modelo de Froehlich, Q4, obtiene el caudal punta de rotura en función del volumen y la profundidad del agua almacenada en la presa, aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_m = 0,607 \cdot (V^{0,295} \cdot h^{1,245}) \quad (7)$$

Siendo: - V = volumen de agua almacenada por encima del fondo de la brecha, en m³.

- h = altura de agua almacenada por encima del fondo de la brecha, en m³.

En este caso, se considera que la brecha abarca el talud completo, por lo que ambas variables coinciden con el volumen de agua del embalse y la altura máxima del dique de contención. De acuerdo con Sánchez (2014), las ecuaciones de Froehlich son las más utilizadas y citadas por diferentes investigadores, ya que son las que mejores predicciones han obtenido en comparación con otros modelos, y por otro lado, en las normativas de diferentes países se recomienda la utilización de estas expresiones, para el cálculo de los hidrogramas de rotura.

En cuanto al hidrograma de rotura, se considera en todos los casos un hidrograma de tipo triangular, en el que el pico de caudal se corresponde con el caudal obtenido mediante los cuatro modelos utilizados, y se alcanza a la mitad del tiempo base del hidrograma, siendo nulos los caudales iniciales y finales, por lo que el cálculo del tiempo base del hidrograma (T_b) se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$T_b = \frac{V}{0,5 \cdot Q_m} \quad (8)$$

En cuanto a la rugosidad de la zona de inundación, se han realizado las simulaciones considerando un valor de rugosidad de la superficie medio en toda la zona de inundación, y uno específico según el uso, tal y como se muestra en la Tabla 1. Los valores de la rugosidad de Manning están tomados de Chow (1994).

Tabla 1. Tabla de valores de rugosidad de Manning considerado en las simulaciones

Denominación	Denominación del uso	Valor	% Superficie
n1	Valor medio (Áreas cultivadas: campos de cultivo maduros)	0,04	100,0%
	Barbechos (Áreas cultivadas: sin cultivo)	0,025	52,0%
n2	Cultivos hortícolas al aire libre (Áreas cultivadas: Campos de cultivo maduros)	0,04	29,0%
	Matorral (Matorrales dispersos)	0,05	8,5%
	Arboles (Pocos matorrales y árboles en verano)	0,06	5,8%
	Cultivo en invernadero (Industrial)*	0,1	4,2%
	Núcleos de casas (Edificios aislados)*	0,1	0,5%

*Valores tomados del programa IBER

La simulación hidráulica se ha realizado mediante el modelo IBER v2.1. Se ha realizado una simulación hidráulica para cada caudal de rotura y valor de rugosidad de la superficie, resultando un total de 8 simulaciones, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Simulaciones realizadas

SIMULACIÓN	ACRONIMO	CAUDAL	RUGOSIDAD
S1	Q1n1	Q1	n1
S2	Q1n2	Q1	n2
S3	Q2n1	Q2	n1
S4	Q2n2	Q2	n2
S5	Q3n1	Q3	n1
S6	Q3n2	Q3	n2
S7	Q4n1	Q4	n1
S8	Q4n2	Q4	n2

Para cada simulación, se han analizado los resultados de velocidad máxima y calado máximo en cada una de las cuatro zonas de afección seleccionadas, representando dichos valores en los gráficos de peligrosidad mostrados en la Figura 1, para cada zona de afección analizada.

Resultados y Discusión

Los hidrogramas de caudal obtenido para los cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura analizados se pueden ver en la Figura 4. Se observa que el modelo de Hagen (Q3) es el que produce un mayor caudal punta, alcanzando los 1543 m³/s, mientras que el modelo de caudal medio (Q2), es el que produce un menor caudal, siendo este de

744 m³/s. Los otros dos modelos dan un caudal punta muy similar, 1205 m³/s para el modelo Dambreak simplificado (Q1) y 1167 m³/s el modelo de Froehlich (Q4).

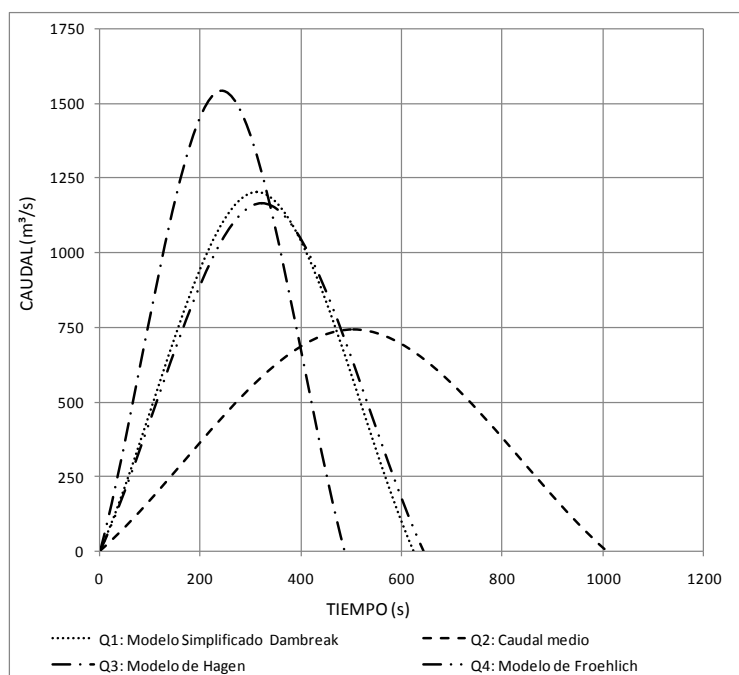


Figura 4. Hidrogramas de rotura de los cuatro modelos de cálculo analizados

El tiempo que tarda la onda de inundación en llegar a cada una de las cuatro áreas de afección está influida por el caudal de rotura y en menor medida por la rugosidad de la superficie. Este tiempo oscila entre 6 y 8,5 min hasta alcanzar el área de afección A1 y entre 28,50 y 34 min hasta alcanzar el área A4. En la Tabla 3 se pueden ver los tiempos que tarda la onda de inundación en llegar las cuatro áreas de afección, en cada una de las 8 simulaciones.

Tabla 3. Tiempo (min) que tarda en llegar la onda de inundación desde la balsa a las zonas de afección

SIMULACIÓN	A1	A2	A3	A4
Q1n1	6,50	13,00	18,50	30,00
Q1n2	6,50	12,50	17,50	29,00
Q2n1	8,00	16,00	21,50	34,00
Q2n2	8,50	15,50	21,00	33,00
Q3n1	6,00	12,00	17,00	28,50
Q3n2	6,00	11,50	16,00	27,52
Q4n1	7,00	13,00	19,02	30,52
Q4n2	7,00	13,00	17,50	29,52

En la Tabla 3 se observa que el tiempo que tarda en llegar la onda de inundación a cada área de afección está más influida por el valor del caudal de rotura que por el de la rugosidad de la superficie.

En la Figuras 5 se pueden ver los gráficos de peligrosidad de las 8 simulaciones realizadas, en cada una de las cuatro áreas de afección estudiadas. Los resultados de calado máximo y velocidad máxima de cada una de las simulaciones se han representado en los gráficos de peligrosidad de la Guía Técnica de Clasificación de

Presas en Función del Riesgo Potencial (MMA, 1996) para zona de viviendas (áreas de afección 1, 2 y 3) y de campo abierto (área de afección 4).

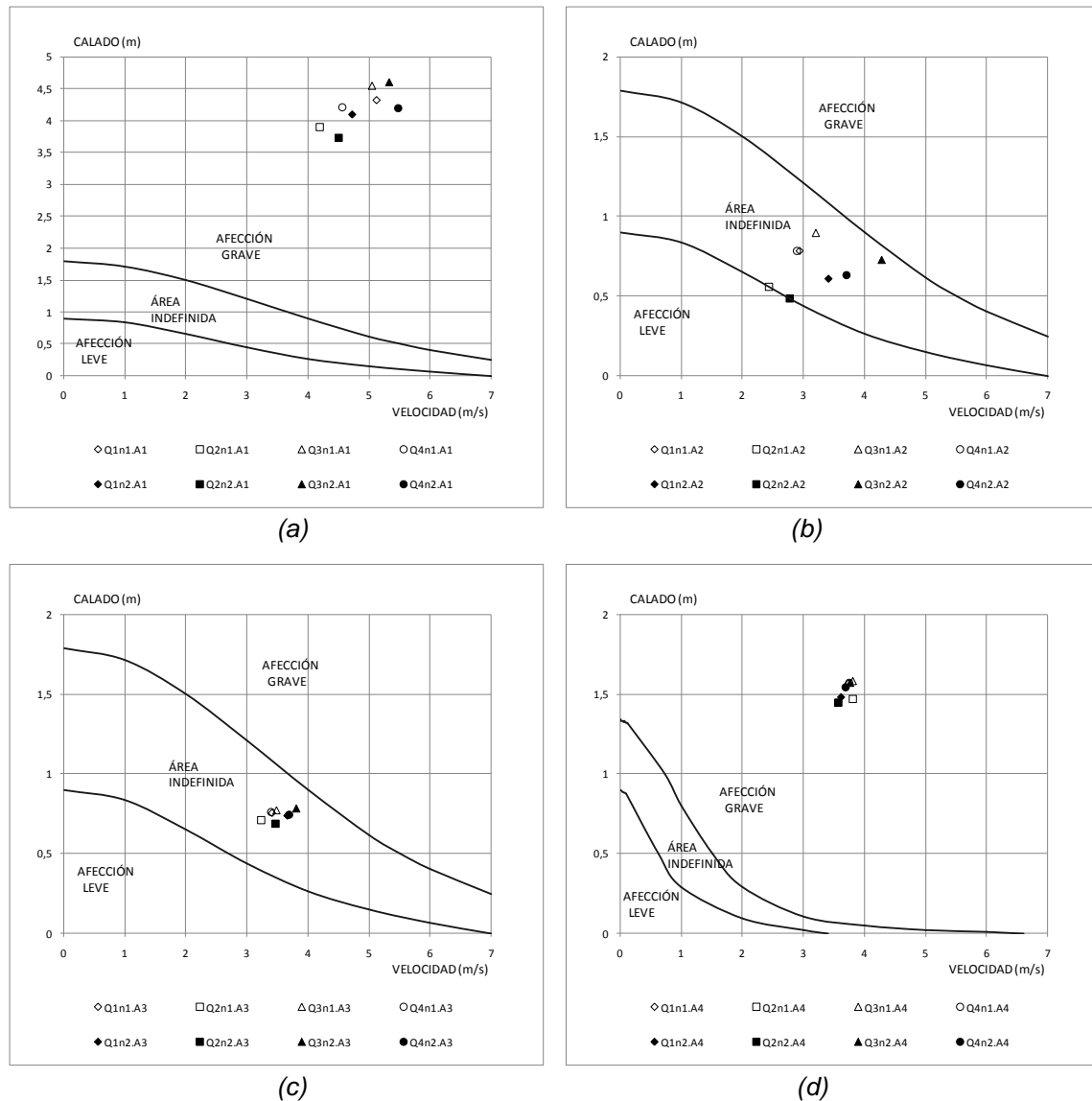


Figura 5. Resultados de las simulaciones en las áreas de afección 1 (a), 2 (b), 3 (c) y 4 (d)

En la Figura 6 se puede ver el resultado del calado máximo de la simulación Q3n1 sobre la fotografía aérea de la zona de inundación y las áreas de afección analizadas.

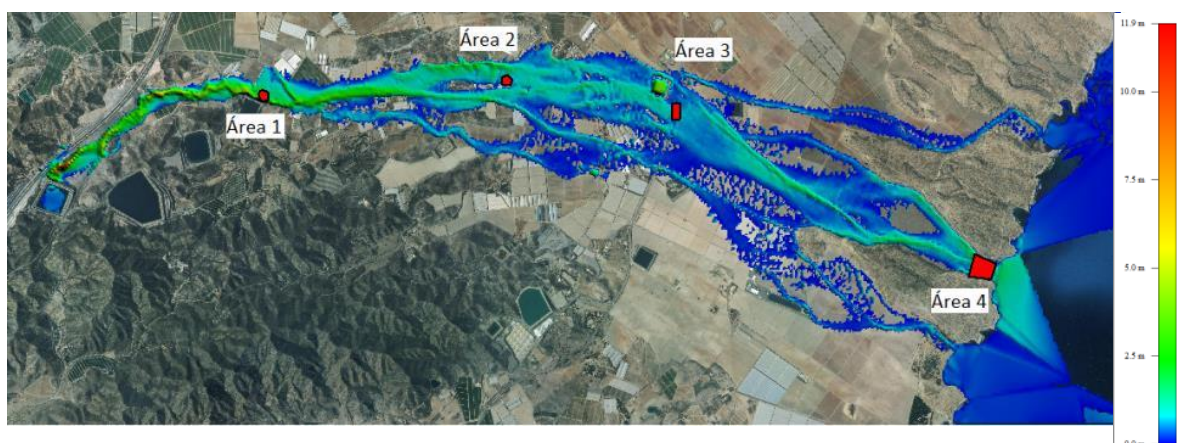


Figura 6. Calado máximo de la simulación Q3n1

A la vista del calado y la velocidad obtenida en el área de afección 1 mostrada en la Figura 5a, se observa que tanto el calado como la velocidad son excesivos, ya que esta área está situada en una zona bastante encauzada, por lo que la anchura de la zona inundada es pequeña (ver Figura 6), lo que provoca un calado y velocidad muy elevados, llegando hasta los 4,5 m de profundidad y velocidad de 5,5 m/s. Además, la zona está justo al final de un tramo de cauce con una elevada pendiente (5,43%), lo que contribuye a esa elevada velocidad. A pesar de que se observan diferencias para los cuatro modelos de caudal de rotura así como para los dos tipos de coeficientes de rugosidad estudiados, en todas las simulaciones nos encontraríamos en una zona de afección grave, por lo que la balsa se clasificaría como tipo A. Si comparamos los resultados considerando los coeficientes de rugosidad, se pone de manifiesto que en el caso de la rugosidad “n2”, dado que el valor medio resultante es menor que el valor dado para “n1”, los resultados para los cuatro caudales de rotura ensayados dan mayor velocidad y menor calado en las simulaciones n2, que en las n1, lo cual era previsible. No obstante estas diferencias debido al cambio de rugosidad son muy pequeñas y no suponen un cambio en el tipo de daño ocasionado por la avenida, en ninguna de las 4 áreas de afección analizadas, como se puede observar en la Figura 5a-d.

En el área de afección 2, sucede algo parecido que en el área 1, aunque en este caso, las simulaciones Q2n1 y Q2n2 están en el límite entre afección leve e indeterminada, mientras que el resto de las simulaciones quedan dentro de la zona de afección indeterminada. En este caso, la utilización del modelo de cálculo de rotura Q2 sí que podría suponer un cambio de clasificación de la balsa, pudiendo clasificarse entre C y B, mientras que con el resto de modelos de cálculo (Q1, Q3 y Q4) la clasificación de la balsa encajaría mejor en el tipo B. En esta área de afección, el efecto del coeficiente de rugosidad es más acusado que en ninguna de las otras 3 áreas, ya que el área está justo después de una zona de barbechos (Figura 3), que tiene un coeficiente de rugosidad específico adoptado en n2 muy diferente del coeficiente medio utilizado en n1, como se puede ver en la Tabla 1.

En el área de afección 3 en torno a la carretera comarcal, los resultados de calado y velocidad para las 8 simulaciones son muy similares. Se siguen observando diferencias entre las simulaciones n1 y n2, teniendo las n2 más velocidad y menor calado que las n1, para los cuatro caudales de rotura ensayados (Figura 5c). Considerando solo el caudal de rotura, también la simulación Q3, que es la de máximo caudal, da valores más elevados de velocidad y calado, mientras que la Q2 (la de mínimo caudal), es la que da menores valores de velocidad y calado. No obstante, para todas las simulaciones los resultados se encuentran en la zona de afección indeterminada, por lo que la balsa podría clasificarse como tipo B en todos los casos.

Por último en el área de afección 4, los resultados de calado y velocidad están muy agrupados, no observándose apenas diferencias en la velocidad y calado de las 8 simulaciones. En todas las simulaciones los resultados estarían en la zona de la gráfica de peligrosidad de afección grave (Figura 5d), por lo que la balsa se clasificaría como tipo A. Estos elevados valores de velocidad se deben a que justo en la zona de afección hay un estrechamiento acusado de la superficie de inundación por lo que la velocidad aumenta considerablemente.

Conclusiones

- Se han aplicado cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura a una balsa de 375.000 m³ de capacidad y 21 m de altura de dique, obteniendo unos valores de caudal punta que oscilan entre 1543 m³/s y 744 m³/s.
- Mediante el modelo de simulación bidimensional IBER v.2.1, se han realizado un total de 8 simulaciones de la onda de inundación ocasionada por la rotura de la balsa, correspondientes a los cuatro modelos de cálculo del caudal de rotura y a dos tipos de rugosidad de la superficie inundada: rugosidad media de toda la superficie de inundación y rugosidad específica de cada tipo de superficie inundada.
- Se han analizado los valores máximos de velocidad y calado de la onda de inundación en cuatro áreas de afección de la zona inundada, encontrando pequeñas diferencias en los resultados obtenidos para cada una de las 8 simulaciones realizadas. Estas diferencias son mayores en unas áreas de afección que en otras, debido a la influencia del coeficiente de rugosidad empleado, y a la pendiente media y anchura del cauce del área de afección analizada.
- El modelo de cálculo de caudal punta de rotura empleado, ha dado lugar a una clasificación de la balsa de diferente tipo, únicamente en una de las áreas de afección, en la que para las dos simulaciones correspondientes al modelo de cálculo del caudal de rotura mínimo la clasificación de la balsa sería tipo C, mientras que para las seis simulaciones restantes, la clasificación sería tipo B. En las tres áreas de afección restantes, las 8 simulaciones realizadas dan lugar al mismo tipo de clasificación de la balsa.
- De forma general se observa que el efecto del caudal de rotura sobre el tiempo de avance de la onda de inundación, el calado y la velocidad de onda de inundación y por tanto sobre la clasificación en función del riesgo potencial en caso de rotura, es mayor que el efecto de la rugosidad de la superficie inundada.

Agradecimientos

Este trabajo ha estado financiado por la Universidad Miguel Hernández, dentro de la convocatoria de Ayudas destinadas al Fomento de la Investigación en los Departamentos e Institutos Universitarios de la Universidad Miguel Hernández, convocatoria 2014.

Bibliografía

- CEDEX, 2012. IBER. Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual básico de usuario. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. GEAMA. FLUMEN. CIMNE.
- Chow, V.T., 1994. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill.
- Froehlich, D.C., 1995. Peak outflow from breached embankment dam. Journal of Water Resources Planning and Management. 121 (1), 90-97.
- Froehlich DC. 2008. Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. Journal of hydraulic engineering-ASCE Vol. 134 (12) 1708-1721.

- Gonzalez Ortega J.M., Segura Graño R., Sánchez Cabezas F.J., 2009. Situación actual de las balsas y los pequeños embalses en España. Jornadas sobre El Papel de las Balsas en la Gestión Sostenible del Agua. Asociación Técnica Española de Balsas y Pequeñas Presas. Madrid Noviembre de 2009.
- MMA, 1996. Guía Técnica de Clasificación de presas en función de su riesgo potencial. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Madrid- España.
- MMA, 2001. Guía Técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Junio. Madrid- España.
- Pons Castelló E., Zapata Raboso F.A. 2009. Guías para el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad. Generalitat Valenciana. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge.
- Sánchez Romero, F.J., 2014. Criterios de seguridad en balsas de tierra para riego. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Wetmore, J.N., Fread, D.L., 1981. The NWS simplified dam break flood forecasting model. Proceedings of the Fifth Canadian Hydrotechnical Conference, Fredericton, New Brunswick, Canada, May.

R03 - Caracterización de la caída de presión en filtros granulares con arena y vidrio reciclado.

Bové, J.¹; Arbat, G.¹, Pujol, T.², Duran-Ros, M.¹, Barragán, J.³, Ramírez de Cartagena, F.¹, Puig-Bargués, J.¹

¹ Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Girona, M^a Aurèlia Capmany 61 17071 Girona, josep.bove@udg.edu, gerard.arbat@udg.edu, miquel.duranros@udg.edu, francisco.ramirez@udg.edu, jaume.puig@udg.edu; ² Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, Universidad de Girona, M^a Aurèlia Capmany 61 17071 Girona, toni.pujol@udg.edu; ³ Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Lleida, Alcalde Rovira Roure, 191 25198 Lleida, barragan@eagrof.udl.es,

Resumen

La filtración es necesaria para evitar la obturación de los goteros en riego por goteo, siendo los filtros de matriz granular los que presentan mejor rendimiento en eliminación de sólidos. En el presente trabajo se han caracterizado hidráulicamente dos materiales granulares (arena silícea y vidrio reciclado machacado); utilizando dos granulometrías (0,63-0,75 mm y 0,75-0,84 mm) para cada material y una granulometría adicional para el vidrio (0,85-1,50 mm). Los experimentos se realizaron utilizando agua de red con un filtro de laboratorio escalado a partir de la geometría y rango de trabajo de un filtro comercial en el que se incorporaron cinco manómetros: uno en la tubería de entrada, tres a lo largo de la columna del medio granular y el último en la tubería de salida. Con estos manómetros se pudo monitorizar la presión a lo largo del filtro, lo que permitió calcular la caída de presión en el conjunto del filtro y en la columna de material filtrante. No se hallaron diferencias destacables en el comportamiento hidráulico de los dos materiales, pero en ambos casos se observó que entre el 60 y el 70% de la caída de presión tuvo lugar en los elementos de drenaje ubicados en el fondo de la columna de material granular. Para analizar con más detalle este hecho, se desarrolló mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD) un modelo en tres dimensiones del filtro a escala. A partir de los resultados experimentales se determinaron los parámetros característicos de los diferentes medios filtrantes. La caída de presión simulada con CFD presentó una alta correlación con los resultados experimentales. Finalmente, los resultados de las simulaciones posibilitaron la determinación de los puntos donde se produce una mayor pérdida de presión en el filtro lo que ha de permitir diseñar nuevos elementos de drenaje que provoquen una menor caída de presión y, por consiguiente, un ahorro energético.

Palabras clave: Filtración, riego por goteo, modelización, CFD.

Characterization of the pressure drop in granular filters filled with sand and recycled glass.

Abstract

Filtration is a necessary operation to prevent emitter clogging in micro irrigation. Granular matrix filters usually show the best performance in solid removal. In this work, two granular materials (silica sand and crushed recycled glass); both with two particle sizes (0.63 to 0.75 mm and 0.75 to 0.84 mm) and also an additional size for glass (0.85-1.50 mm) have been characterized. The experiments were carried out using tap water and a laboratory filter which was scaled from the geometry and the operating range of a commercial filter. Five pressure gauges were placed in the filter: one at the inlet pipe, three along the column of granular media, and the last one at the outlet pipe. The pressure along the filter was measured using these gauges allowing computing the pressure drop for the whole filter and across the filtration medium. No important differences in the hydraulic behavior of the two materials were found, but in both cases it was observed that between 60 and 70% of the pressure drop was caused by the underdrain located at the bottom of the column of granular material. To further analyze the head loss, a three dimension model of the scaled filter was developed by computational fluid dynamics (CFD). The characteristic parameters of the different filter media were determined with the experimental results. The pressure drop simulated with CFD showed good agreement with the experimental values. Lastly, simulation

results allowed finding those points where the pressure drop was greater. This information will help for designing new filter underdrain components that will reduce head loss and energy costs.

Keywords: Filtration, micro irrigation, modeling, CFD.

Introducción

La filtración es esencial para el correcto funcionamiento de los sistemas de riego por goteo porque evita la obturación en los emisores provocada por partículas orgánicas e inorgánicas (Ayars *et al.*, 2007).

De las diferentes tecnologías aplicables en esta operación, los filtros de matriz granular son los que presentan mejor rendimiento en la eliminación de sólidos en suspensión (Duran Ros *et al.*, 2009). En trabajos anteriores se ha observado que la caída de presión en estos filtros se reparte entre los elementos auxiliares de entrada y salida del filtro, el medio granular y el drenaje (Arbat *et al.*, 2013).

La caída de presión en el medio granular está relacionada con la necesidad de filtración. No obstante, en el drenaje, la caída de presión no aporta ningún beneficio a nivel de eliminación de sólidos, de manera que es donde se pueden explorar estrategias para reducir la caída de presión y, de esta forma, reducir el consumo energético de estos filtros.

Existen diferentes ecuaciones para la predicción de la pérdida de carga en medios filtrantes, siendo el modelo de Ergun el que mejor se adapta al comportamiento hidráulico de los materiales utilizados como matriz granular (McCabe, Smith y Harriot, 2001). A pesar de esto, la deformación del flujo que provocan los elementos de drenaje produce variaciones de la velocidad en las zonas próximas al drenaje dificultando el cálculo de la caída de presión en el conjunto de un filtro.

Para mejorar la comprensión del funcionamiento del filtro, así como, cuantificar y ponderar las pérdidas energéticas, se utiliza la dinámica de fluidos computacional (CFD). La CFD es muy útil, puesto que tiene en cuenta el efecto que ejerce la geometría sobre el flujo hidráulico (Li *et al.*, 2013). No obstante, es indispensable contrastar los resultados con datos experimentales.

Los objetivos principales del presente trabajo son, en primer lugar, comprobar la diferencias de comportamiento de varios materiales utilizados como medio filtrante, y, en segundo lugar, validar un modelo de la geometría del filtro escalado que permita identificar los puntos críticos a nivel de caída de presión a partir de los cuales se puedan plantear cambios en el diseño actual de un filtro de arena utilizado para riego por goteo para mejorar su eficiencia energética.

Material y Métodos

Los ensayos se realizaron con un filtro construido a escala de laboratorio a partir del escalado de un filtro de arena comercial. El filtro escalado (figura 1) tenía una carcasa de 200 mm de diámetro interior y 750 mm de longitud. Tanto la entrada como la salida del filtro estaban formadas por tuberías de 32 mm de diámetro nominal. Dentro del filtro, a 133 mm por encima de la salida, se soldó a la carcasa una platina de 10 mm de grosor donde se insertó el drenaje del medio filtrante.

El drenaje estaba constituido por una crepina utilizada en un filtro comercial y diseñada con una cúpula de 35 ranuras de 0,45 mm de apertura y 30 mm de longitud, un colector en el interior y una tapa en su parte inferior (figura 1).

En el filtro se incorporaron cinco manómetros digitales Keller Leo Record, con una precisión de $\pm 0,01$ kPa, situándose uno en la tubería de entrada, tres a lo largo de la columna de medio filtrante y el quinto en la tubería de salida. Estos manómetros registraron una lectura de presión cada segundo durante los ensayos.

El filtro se alimentó con agua de red procedente de un depósito de donde era bombeada con una bomba centrífuga ESPA Prisma 20/40M a la salida de la cual había instalado un caudalímetro electromagnético Comaquinsa MP400-CB, con una precisión de $0,05 \text{ m}^3/\text{h}$, para disponer de una lectura de caudal en tiempo real. La instalación también incorporaba una válvula de compuerta que permitía regular el caudal y un filtro de malla para retener la arena. Para poder regular la presión durante los ensayos, la instalación incorporaba dos válvulas de bola, una en la entrada del filtro y otra en la salida (figura 2).

Se realizaron cinco ensayos con distintos medios filtrantes, las características de los cuales se muestran en la tabla 1, y un ensayo adicional sin ningún medio filtrante.

Tabla 1. Descripción de los medios filtrantes utilizados en los ensayos.

Medio filtrante (acrónimo)	Características			
	Densidad aparente (kg/m^3)	Densidad real (kg/m^3)	Granulometría (mm)	Porosidad (%)
Sin medio filtrante (SMF)	-	-	-	-
Arena silícea (SSI3)	1.490,0	2.750,0	0,63-0,75	42,0
Arena silícea (SSI2)	1.507,0	2.510,0	0,75-0,85	40,0
Vidrio triturado (VEI3)	1.390,0	2.400,0	0,63-0,75	44,5
Vidrio triturado (VEI2)	1.338,0	2.410,0	0,75-0,85	44,5
Vidrio triturado (VEI1)	1.385,0	2.420,0	0,85-1,50	42,7

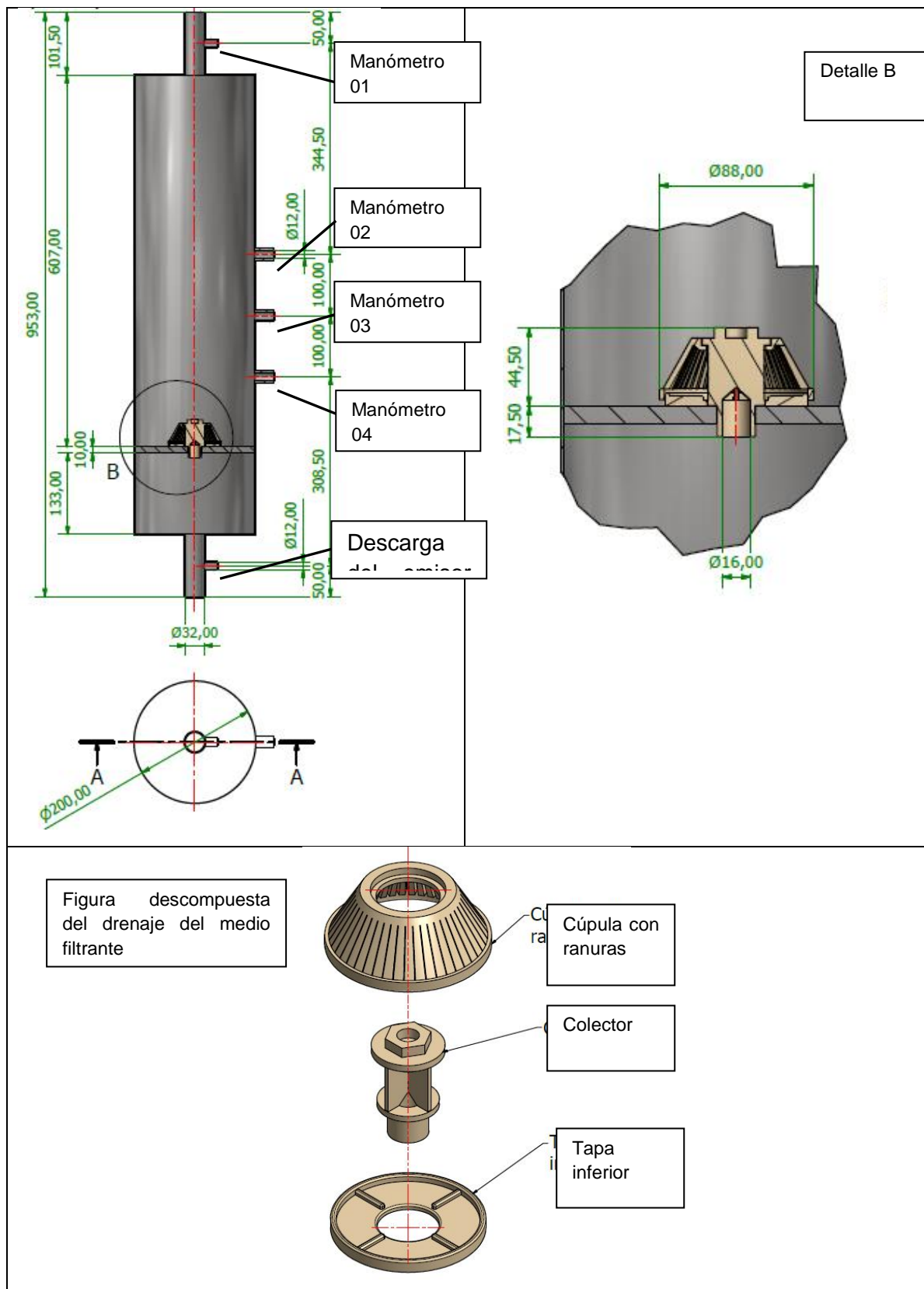


Figura 1. Descripción del filtro a escala y el drenaje del medio filtrante.

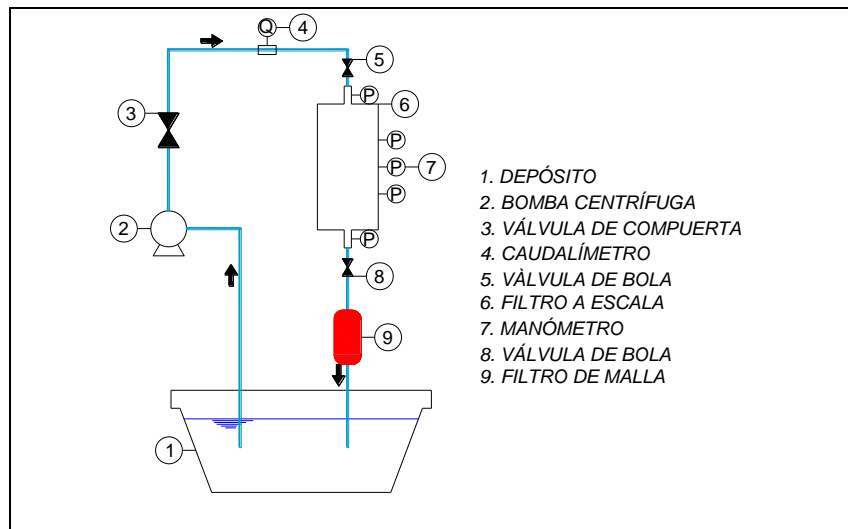


Figura 2. Esquema de la instalación experimental.

En los ensayos se conectaba la bomba y, a continuación, se iba abriendo o cerrando la válvula de compuerta para disponer de distintos caudales. En concreto, cada ensayo se realizó en un intervalo de caudal entre 0,10 y 0,80 L/s, cubriéndose así el rango de velocidad superficial en el cual trabajan los filtros comerciales. En cada ensayo se realizaron tres repeticiones obteniendo 12 lecturas de caudal y los correspondientes valores de presión en el filtro. De esta manera, se podía obtener la caída de presión en el conjunto del filtro y en los tramos comprendidos entre los manómetros en función del caudal filtrado.

Con los ensayos experimentales se pudo calibrar un modelo tridimensional del filtro realizado con el paquete ANSYS. Se utilizó ANSYS ICEMCFD para dibujar y mallar el modelo y ANSYS Fluent para resolverlo. Este modelo constaba de una malla tridimensional que representaba un cuarto del filtro con un plano de simetría XY y otro YZ (figura 3). De esta forma, se pudo reducir el número total de elementos que formaban el modelo y optimizar así el tiempo de resolución. La malla estaba formada por 2.638.326 elementos que, al tener dos planos de simetría, equivaldría a una geometría completa del filtro discretizada en un total de 10.554.504 elementos. Para caracterizar correctamente la geometría del filtro, las ranuras de la crepina se discretizaron en celdas triangulares de 0,10 mm de longitud máxima, mientras que el resto de la geometría se discretizó en celdas triangulares de 1,00 mm de longitud máxima a excepción de la zona más ancha del cuerpo del filtro, donde esta longitud se fijó en 5,00 mm. De esta manera, se obtuvo una malla lo suficientemente densa (figura 3) formada por tetraedros de altura máxima de 2 mm en las tuberías de entrada y salida y en el interior de la crepina y de 5 mm de altura máxima en el resto del filtro. El factor de crecimiento de la malla se fijó en 1,2 en todo el filtro.

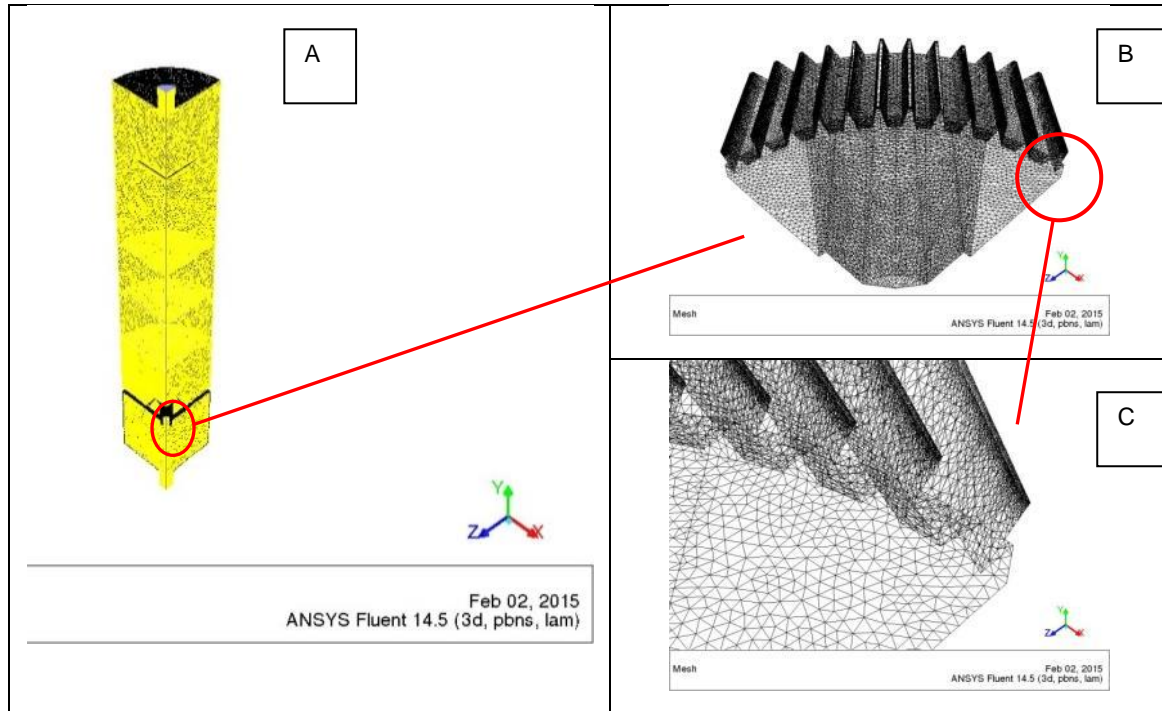


Figura 3. Malla utilizada en la modelización del filtro. A) vista general, B) detalle crepina, C) detalle ranuras.

ANSYS Fluent permite utilizar diferentes modelos para la representación de la turbulencia. En este caso, se utilizó el modelo realizable k- ϵ , con unos valores de C2-Epsilon = 1,9, TKE-Prandtl = 1 y TDR-Prandtl = 1,2 (ANSYS, 2009). En el caso del filtro sin medio filtrante únicamente fue necesario definir correctamente la geometría, mientras que cuando se modelizaron los medios granulares fue necesario definir los factores viscoso e inercial de cada medio. A este efecto, la ecuación utilizada para la caída de presión fue la que se muestra en la ecuación (1) (ANSYS, 2009):

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{1}{\alpha} \cdot \mu \cdot v + C_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad (1)$$

Donde $\Delta p/\Delta L$: caída de presión por unidad de longitud en medio filtrante (Pa/m); $1/\alpha$: factor viscoso ($1/m^2$); μ : viscosidad del fluido (Pa·s); v : velocidad del fluido en el medio filtrante (m/s); C_2 : factor inercial ($1/m$); y ρ : densidad del fluido (kg/m^3).

Tanto el factor inercial como el factor viscoso se obtuvieron a partir de los ensayos experimentales. La representación gráfica de la caída de presión observada en el tramo de flujo uniforme (entre los manómetros 2 y 4) se ajustó a una ecuación cuadrática respecto la velocidad como la que se muestra en la ecuación (2):

$$\Delta p = a \cdot v^2 + b \cdot v \quad (2)$$

De esta manera, se pudo obtener el valor del factor viscoso y el factor inercial con ecuaciones (3) y (4) respectivamente:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{b}{\mu \cdot \Delta L} \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{a \cdot 2}{\rho \cdot \Delta L} \quad (4)$$

Una vez determinados los factores viscoso e inercial del medio filtrante, se utilizaron para evaluar la capacidad predictiva del modelo en el conjunto del filtro con la caída de presión registrada entre los manómetros 1 y 5. Para ello, se calcularon el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe y la raíz del error cuadrático medio mediante las expresiones de las ecuaciones (5) y (6) respectivamente:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (6)$$

Donde: NSE: coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe; RMSE: raíz del error cuadrático medio (Pa); O_i : valor experimental observado de caída de presión (Pa); P_i : valor de caída de presión predicho por el modelo (Pa); \bar{O} : caída de presión observada media (Pa); y N: número de observaciones.

La NSE expresa la bondad de ajuste y toma valores entre $-\infty$ y 1, siendo mejor la bondad de ajuste cuanto más próximo a 1. La RMSE expresa el error del modelo y toma valores entre 0 y ∞ . Para cuantificar cuan pequeño es el error, se determinó cuantas veces la variabilidad de las observaciones fue mayor a la RMSE con la ecuación (7).

$$n_t = \frac{SD}{RMSE} - 1 \quad (7)$$

Donde: n_t : número de veces que la variabilidad de las observaciones es mayor que la RMSE; SD: desviación de estándar de los valores experimentales de caída de presión (Pa).

Se considera que la capacidad predictiva es buena o muy buena cuando NSE es superior a 0,9 y n_t es superior a 2,2 (Ritter *et al*, 2013).

Resultados y Discusión

La caída de presión total en función del caudal en los seis casos considerados (figura 4) muestra que ésta depende más de la granulometría que del material utilizado como medio filtrante.

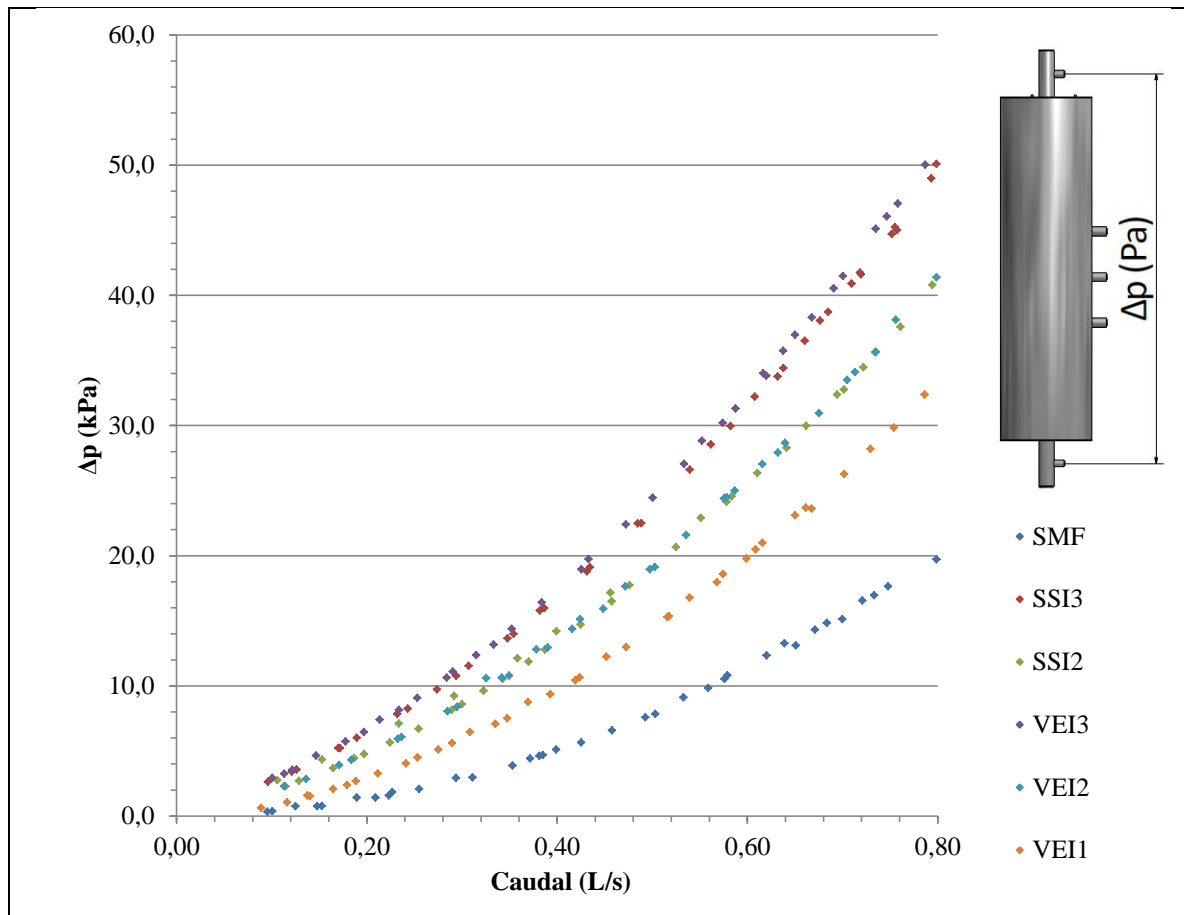


Figura 4. Caída de presión experimental en función del caudal para los distintos casos ensayados.

Las modelizaciones se realizaron para los casos de arena sílicea con granulometría de 0,63 a 0,75 mm (SSI3), para el vidrio triturado con granulometría de 0,85 a 1,5 mm (VEI1) y en el caso del filtro sin medio filtrante (SMF). En la tabla 2 se muestran los valores del factor viscoso e inercial utilizados en cada caso, así como los valores de la NSE y la n_t obtenidos de la modelización.

Tabla 2. Valores de los factores viscoso ($1/\alpha$) e inercial (C_2) utilizados en las modelizaciones y la NSE, la RMSE y la n_t obtenidos.

Medio filtrante	$1/\alpha$ (1/m ²)	C_2 (1/m)	NSE	RMSE (Pa)	n_t
SSI3	1.426.866.416	67.809	0,999	570,3	28,2
VEI1	794.666.385	49.944	0,970	1.676,4	5,0
SMF	-	-	0,994	472,5	13,1

La capacidad predictiva del modelo fue muy buena en todos los casos modelizados. El buen ajuste del modelo sin medio filtrante indica que la geometría se representó adecuadamente.

Con el modelo se obtuvieron los perfiles de presión y velocidad absoluta a lo largo del filtro como se muestra en la figura 5.

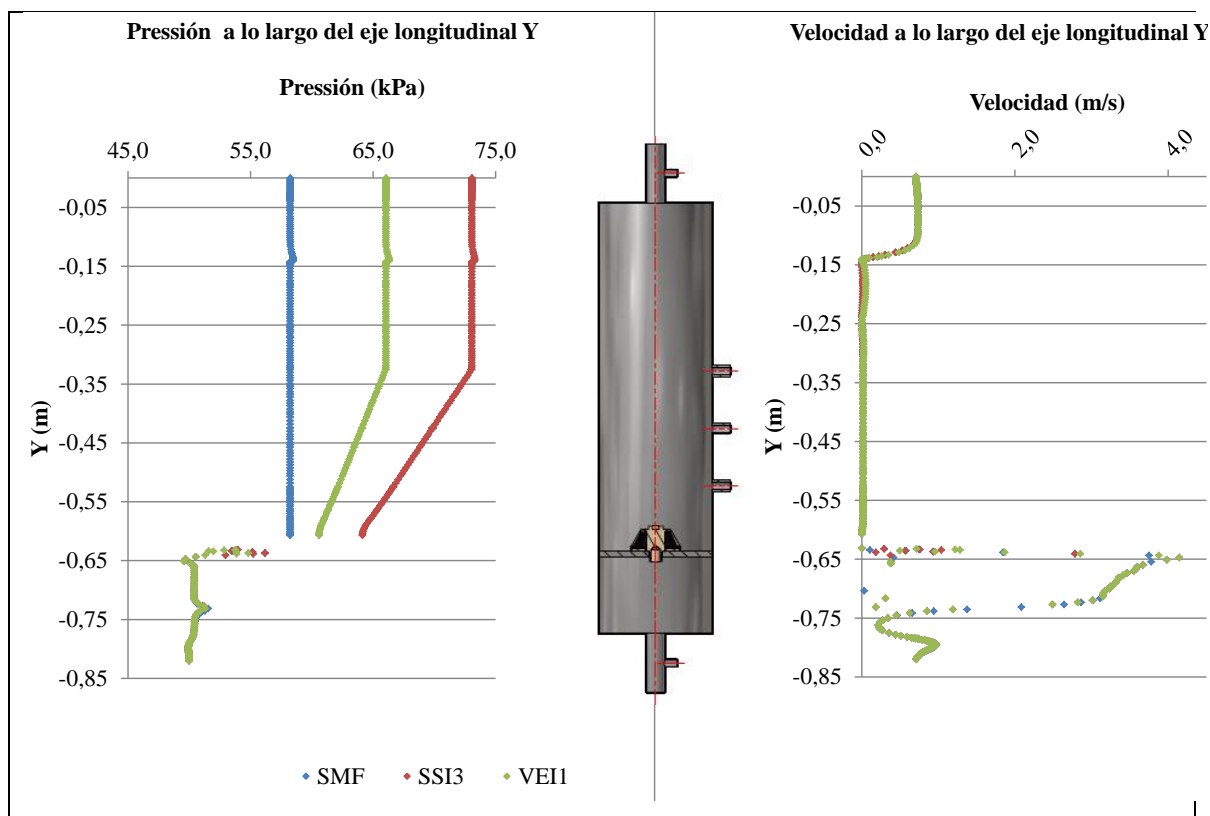


Figura 5. Perfil de presión y velocidad a lo largo del eje longitudinal del filtro para los tres casos modelizados para un caudal de 0,50 L/s y una presión en la salida de 50,0 kPa.

El tramo donde la caída de presión era lineal correspondía a la columna de medio filtrante. Si bien en este tramo se observaron diferencias de comportamiento entre los dos materiales utilizados, el margen de reducción de caída de presión en esta zona es muy pequeño, pues la selección de un medio filtrante y su granulometría viene condicionada por las necesidades de calidad del agua en la salida del filtro.

En cambio, es muy destacable la caída de presión observada en la zona del drenaje (cercana al 60% en el caso de utilizar medio filtrante y superior al 90% sin medio filtrante) y que es consecuencia de la mayor velocidad que registra el agua en esta zona. Esta caída de presión corresponde a la suma de la caída de presión en el medio filtrante que rodea la crepina, en las ranuras de la crepina y en el agujero que separa el drenaje de la cámara colectora de salida del filtro.

Analizando la evolución de la presión en la zona que recubre la crepina y en el paso por las ranuras para los tres casos estudiados (figura 6), se puede observar cómo se incrementa la velocidad al acercarse el agua a la crepina de manera casi idéntica en los tres casos modelizados. El perfil de presión es distinto, si bien siguen un mismo patrón, en el caso del filtro sin medio filtrante, el salto en las ranuras es muy pequeño, mientras que en los otros dos casos, el salto en la ranura es más considerable, especialmente en el medio con granulometría menor, que también tiene una curva más acusada en la parte del medio filtrante.

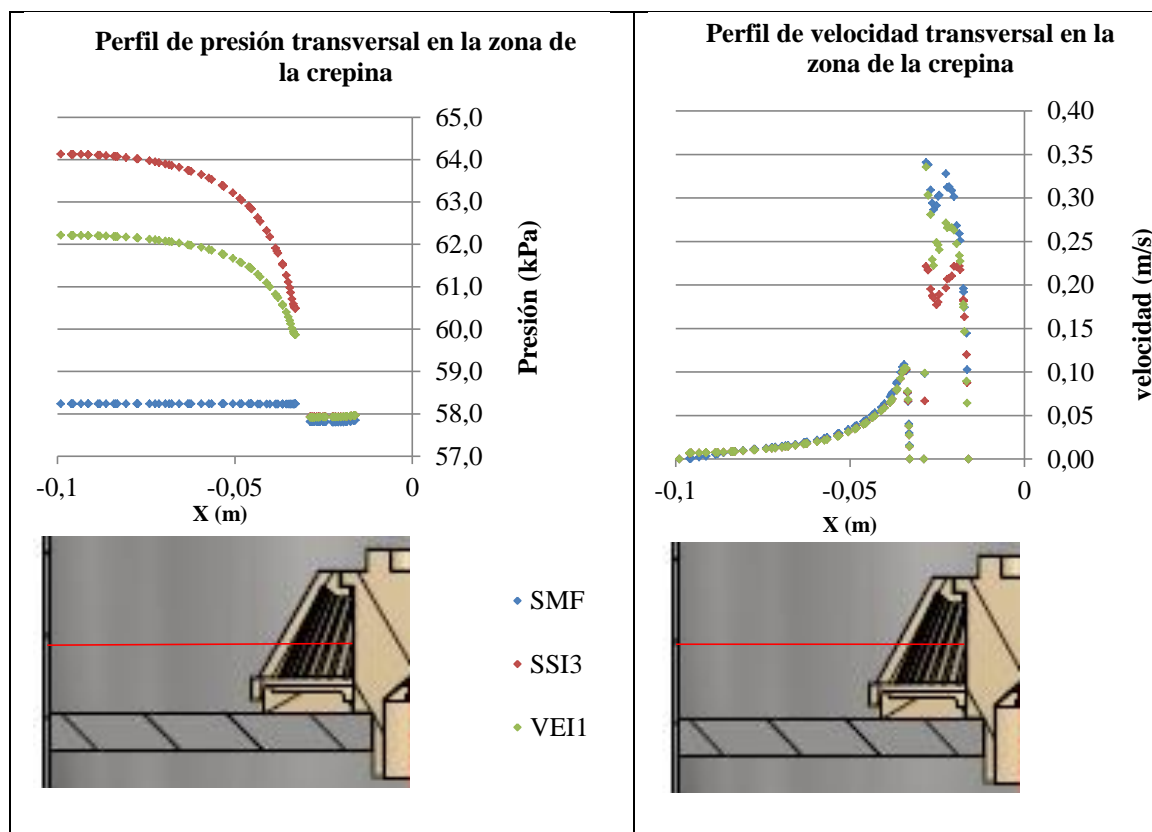


Figura 6. Perfil de presión y velocidad transversal en la zona de la crepina. La línea roja indica el eje X.

La caída de presión en el medio filtrante que rodea la crepina más la caída en las ranuras supuso el 45% de la caída de presión en el drenaje, mientras que el 55% restante correspondió al colector del interior de la crepina. Estas pérdidas referidas al conjunto del filtro corresponden a un 27% y a un 33% respectivamente.

Con el estudio de este punto crítico que es la crepina, se pueden definir tres estrategias para mejorar el diseño del drenaje del filtro. La primera y más evidente consiste en ensanchar el paso entre el drenaje y la cámara colectora de la salida del filtro. La segunda consiste en diseñar un drenaje que implique una curvatura menor del flujo en la zona del drenaje, lo cual se conseguiría con unas ranuras que intercepten el flujo de una forma más perpendicular. La tercera consiste en mejorar la conductividad hidráulica del medio que rodea el drenaje.

Conclusiones

Con los ensayos realizados se ha observado que el comportamiento del conjunto del filtro, en relación con la pérdida de carga, depende más de la granulometría que del material que forma el medio filtrante.

El estudio del filtro mediante CFD ha permitido identificar que en la zona del drenaje se produce un 60% de la caída de presión en el conjunto del filtro. El 40% restante se produce en la columna de medio filtrante. La caída de presión en la columna de medio filtrante es consecuencia del tipo de material y la selección de un material u otro viene condicionada por las necesidades de calidad del agua de salida.

El estudio detallado de la zona de drenaje indica que el 45% de la pérdida de presión se produce en el medio filtrante que envuelve la crepina y las ranuras de este elemento. El

55% restante se produce en el colector que separa el drenaje de la cámara colectora de salida del filtro.

Este análisis ha permitido definir tres posibles estrategias para mejorar el diseño del drenaje, reduciendo la caída de presión y, por lo tanto, reducir su consumo energético.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad la financiación del proyecto de investigación CGL2012-31180 que ha permitido la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- ANSYS. 2009. ANSYS Fluent 12.0 user's guide.
- Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Montoro, L., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F. 2013. An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management* 126, 64-74.
- Ayars J.E., Bucks D.A., Lamm F.R., Nakayama F.S. 2007. Introduction. En: Lamm F.R., Ayars, J.E., Nakayama, F.S. (eds.) *Microirrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*, Elsevier, Amsterdam.
- Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F., 2009. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management* 96 (1), 67–79.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering* (Vol. 5): McGraw-Hill New York.
- Ritter, A., Muñoz-Carpena, R. 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, **480**, 33-45
- Li, Y., Liu, H., Peiling, Y., Wu, D. 2013. Analysis of tracing ability of different sized particles in drip irrigation emitters with computational fluid dynamics. *Irrigation and Drainage*, 62: 340-351.

R04 - Reducción de la caída de presión en un filtro de medio granular mediante un nuevo diseño de su drenaje

Bové, J.¹; Arbat, G.¹, Pujol, T.², Duran-Ros, M.¹, Barragán, J.³, Ramírez de Cartagena, F.¹, Puig-Bargués, J.¹

¹ Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Girona, M^a Aurèlia Capmany 61 17071 Girona, josep.bove@udg.edu, gerard.arbat@udg.edu, miquel.duranros@udg.edu, francisco.ramirez@udg.edu, jaume.puig@udg.edu; ² Departamento de Ingeniería Mecánica y de la Construcción Industrial, Universidad de Girona, M^a Aurèlia Capmany 61 17071 Girona, toni.pujol@udg.edu; ³ Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Lleida, Alcalde Rovira Roure, 191 25198 Lleida, barragan@eagrof.udl.es,

Resumen

Los filtros de matriz granular que se utilizan normalmente en los sistemas de riego por goteo producen una pérdida de carga importante, lo que, a su vez, supone también un mayor consumo y coste energético. En trabajos anteriores se ha observado que gran parte de la caída de presión tiene lugar en los elementos de drenaje incorporados en el fondo del filtro. Con el fin de minimizar esta pérdida de presión, en el presente trabajo se ha utilizado la dinámica de fluidos computacional (CFD) para analizar el comportamiento de un nuevo diseño del drenaje del filtro. En la nueva configuración que se propone se ha substituido el medio granular que rodea el drenaje del filtro por otro con una conductividad hidráulica superior sin modificar la estructura del medio granular del resto del filtro. Al mismo tiempo, se ha ensanchado el paso entre el compartimiento del medio filtrante y el colector de salida. Los resultados de las simulaciones realizadas con este nuevo diseño de filtro operando con agua de red indican que la pérdida de carga en el conjunto del filtro se reduce en un 45% respecto a la que se produce con un diseño comercial convencional, bajo las mismas condiciones de contorno.

Palabras clave: Filtración, riego por goteo, modelización, CFD.

Pressure drop reduction in a granular media filter with a new underdrain design.

Abstract

Granular matrix filters commonly used in micro irrigation systems produce a large pressure drop, which also increases both energy consumption and cost. In previous works it has been observed that the main pressure drop is caused by the underdrain elements, which are located at the filter bottom. In order to minimize the head loss, in this paper computational fluid dynamics (CFD) has been used to analyze the performance of a newly designed filter underdrain. In the new proposed configuration, the granular medium surrounding the filter underdrain has been replaced by another medium with higher hydraulic conductivity but which does not modify the structure of the rest of the original granular medium. At the same time, the passage between the compartment of the filter medium and the outlet manifold has been widened. The results of the simulations carried out with this new underdrain design working with tap water show that the pressure drop across the filter is reduced by 45% compared to a conventional commercial design, under the same boundary conditions.

Keywords: Filtration, micro irrigation, modeling, CFD.

Introducción

En las instalaciones de riego localizado es indispensable disponer de filtros para evitar la obturación de los goteros (Ayars *et al.*, 2007).

Los filtros de matriz granular son los que presentan mejor rendimiento en la eliminación de sólidos en suspensión (Duran Ros *et al.*, 2009). Sin embargo, estos filtros tienen un gasto energético no despreciable debido a la caída de presión que se produce en el

conjunto del dispositivo, constituido por los elementos auxiliares de entrada y salida del filtro, el medio granular que forma la columna de filtrante y el drenaje del fondo del filtro.

Mesquita *et al.*, (2012) estudiando la pérdida de carga en filtros granulares destacaron la importancia del diseño de los elementos auxiliares en la pérdida de carga total del filtro. En esta misma línea, Arbat *et al.* (2013) observaron que gran parte de la caída de presión en el conjunto del filtro es consecuencia de la suma de la caída en el medio filtrante que envuelve la crepina, las ranuras que forman la crepina y el colector que separa el drenaje de la cámara colectora de la salida del filtro. Esta caída de presión no permite mejorar la eficiencia de eliminación de sólidos, pues éstos quedan retenidos en la columna filtrante que se encuentra por encima del drenaje. Por este motivo, la identificación de puntos de caída de presión que se podrían eliminar permitiría mejorar la eficiencia energética de los filtros de arena.

El objetivo del presente trabajo es estudiar mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) dos nuevos diseños de filtro y las mejoras que suponen respecto a un diseño comercial ampliamente utilizado en riego localizado. La CFD es muy útil para aportar comprensión sobre el funcionamiento de instalaciones hidráulicas, ya que permite considerar el efecto que ejerce la geometría sobre el flujo hidráulico (Li *et al.*, 2013).

Material y Métodos

El diseño actual del drenaje de un filtro de arena comercial tipo consiste en una crepina de polietileno de alta densidad formado por tres piezas. La primera es una cúpula con 35 ranuras de 0,45 mm de ancho y 30 mm de longitud, lo que suma una apertura total de 472,5 mm². La cúpula va montada sobre un colector que canaliza el agua que entra en la crepina hacia una apertura circular de 16 mm de diámetro y 21 mm de longitud. El conjunto queda cerrado con una tapa en la parte inferior.

Los detalles del filtro a escala y su drenaje, así como del dispositivo experimental se indican en Bové *et al.* (2015).

El diseño actual se modelizó utilizando el código ANSYS. Se utilizó ANSYS ICEMCFD para dibujar y mallar el modelo y ANSYS Fluent para resolverlo. El modelo desarrollado constaba de una malla tridimensional que representaba un cuarto del filtro con un plano de simetría XY y otro en el plano YZ (figura 2), lo que permitió disminuir el número total de elementos del modelo y reducir así el tiempo de cálculo. La malla estaba formada por 2.638.626 elementos que, al tener dos planos de simetría, equivaldría a una geometría completa del filtro discretizada en 10.554.504 elementos. Para caracterizar correctamente la geometría de los elementos de drenaje, las ranuras de la crepina se dividieron en celdas triangulares de 0,10 mm de longitud máxima, mientras que el resto de la geometría se ha discretizó en celdas triangulares de 1,00 mm, a excepción de la zona más ancha del cuerpo del filtro que se dividió en celdas triangulares de 5,00 mm de longitud máxima. En todo el modelo se utilizó un factor de crecimiento de 1,2. De esta manera se obtuvo una malla tetraédrica suficientemente densa.

Sobre el diseño a escala y trabajando con modelización, se plantearon dos posibles diseños enfocados a reducir la caída de presión en el conjunto del filtro.

El primer diseño (diseño mejorado 1) simplemente afectó a la geometría de la crepina, ampliando la sección de paso entre el drenaje y la salida del filtro, pasando de los 16 mm de diámetro del diseño comercial a 60 mm. Con este cambio se pretendió disminuir

la velocidad de paso en esta zona y en consecuencia reducir la caída de presión. Además, se varió la disposición y número de ranuras, colocando 24 ranuras de 0,45 mm de apertura y 30 mm de longitud en los laterales y 16 ranuras de 20 mm de largo por 0,45 mm de ancho en la parte superior de la crepina, con lo que se aumentó la sección de paso por las ranuras hasta los 583,2 mm². En la figura 1 se muestra un dibujo acotado del conjunto del filtro a escala con este nuevo diseño de drenaje.

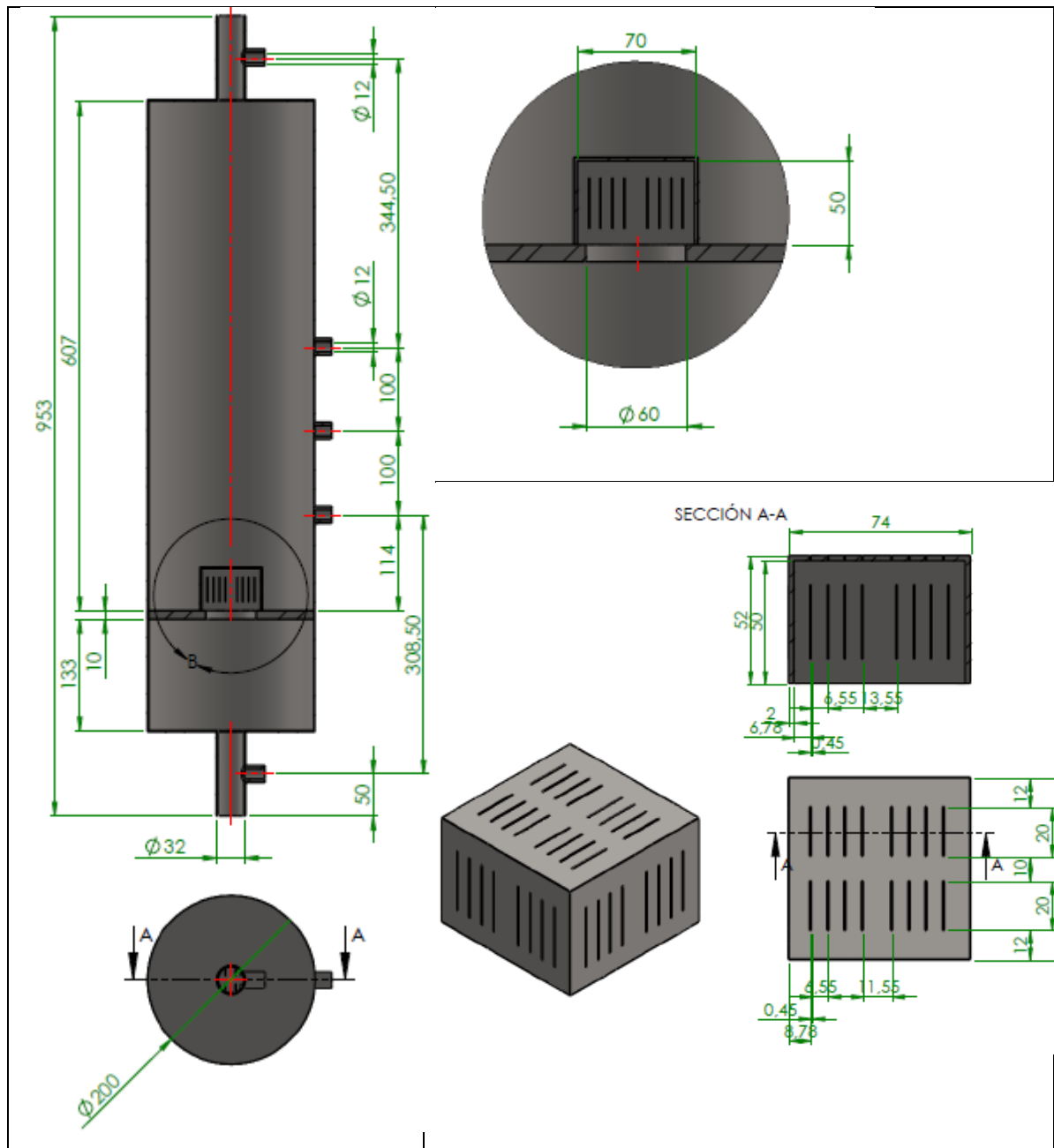


Figura 1. Descripción del filtro a escala con el nuevo drenaje del medio filtrante mejorado(diseños 1 y 2) a nivel de pérdida de carga. Cotas en mm.

La segunda propuesta de mejora (diseño mejorado 2) tenía la misma geometría del drenaje que en la primera modificación del diseño, pero en este caso, la crepina se recubrió con un medio filtrante con una conductividad hidráulica mayor que el medio utilizado en la columna filtrante hasta una altura de 110 mm por encima de la placa que sujeta la crepina.

Esta nueva geometría del drenaje se modelizó con el paquete ANSYS. Igual que en el caso del filtro comercial, se aplicó un modelo que representaba un cuarto del filtro con los planos de simetría en YX y YZ. El modelo está formado por un total de 2.019.691 elementos, de forma que al considerar los dos planos de simetría, el diseño completo quedaría discretizado en un total de 8.078.764 elementos. Las ranuras se dividieron en celdas triangulares de 0,10 mm de longitud, mientras que el resto de elementos del filtro se discretizaron en celdas triangulares de 1,00 mm, a excepción de la parte más ancha del cuerpo del filtro que se dividió en celdas triangulares de 5,00 mm de longitud máxima. En la figura 2 se muestra la malla tetraédrica que formó el modelo.

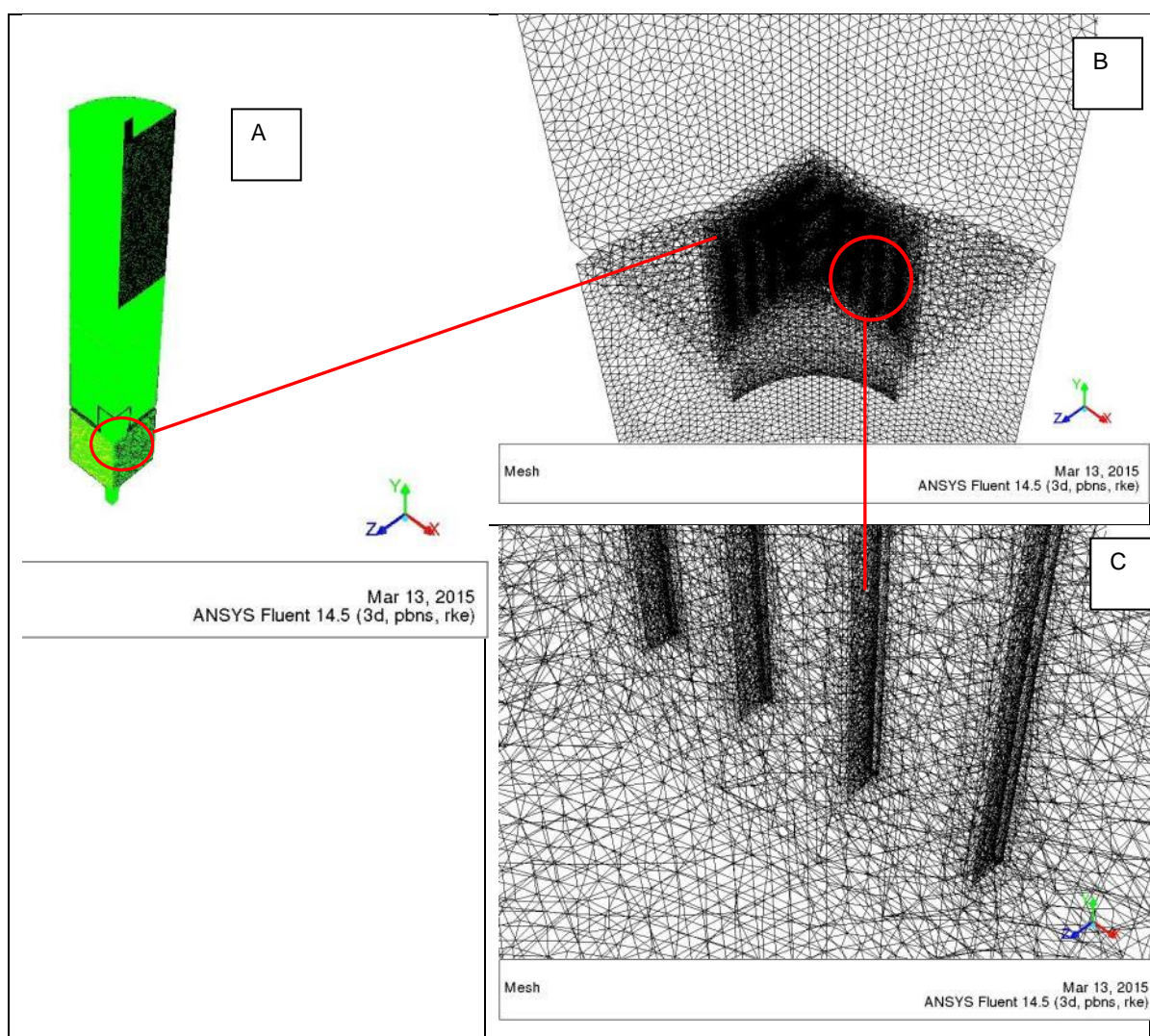


Figura 2. Malla utilizada en la modelización del filtro mejorado. A) vista general, B) detalle crepina, C) detalle ranuras.

En la resolución del modelo con ANSYS Fluent se utilizó el modelo realizable k-ε, con unos valores de C2-Epsilon = 1,9, TKE-Prandtl = 1 y TDR-Prandtl = 1,2. Para modelizar los medios granulares es necesario definir los factores viscoso e inercial de cada medio para introducirlos en la ecuación (1) (ANSYS, 2009).

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{1}{\alpha} \cdot \mu \cdot v + C_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad (1)$$

Donde $\Delta p/\Delta L$: caída de presión por unidad de longitud en medio filtrante (Pa/m); $1/\alpha$: factor viscoso ($1/m^2$), μ : viscosidad del fluido (Pa·s); v : velocidad del fluido en el medio filtrante (m/s); C_2 : factor inercial ($1/m$); y ρ : densidad del fluido (kg/m^3).

En trabajos anteriores se han caracterizado diferentes materiales filtrantes tanto físicamente como hidráulicamente, obteniendo una capacidad predictiva muy buena de los modelos calibrados con estos medios. El material que en el presente trabajo formó la columna de medio filtrante fue arena silícea (SS) con una granulometría comprendida entre 0,63 mm y 0,75 mm. El material que recubrió el drenaje en la segunda propuesta de mejora fue vidrio triturado (VT) con una granulometría entre 0,85 mm y 1,50 mm. En la tabla 1 se muestra la caracterización física e hidráulica de estos dos materiales.

Tabla 1. Caracterización física de los medios filtrantes utilizados.

Parámetro	Arena silícea (SS)	Vidrio triturado (VT)	Unidades
Granulometría	0,63-0,75	0,85-1,50	mm
Densidad aparente	1.478,0	1.386,0	kg/m ³
Densidad real	2.573,0	2.420,0	kg/m ³
Porosidad	42,2	42,7	%
$1/\alpha$	1.426.866.416	794.666.385	$1/m^2$
C_2	67.809	49.944	$1/m$

La columna total de medio filtrante para todas las modelizaciones fue de 317 mm de altura por encima de la platina que sujeta la crepina.

Para comparar los diseños, se realizaron 12 simulaciones distintas para cada diseño bajo las mismas condiciones de contorno. El rango de caudal utilizado fue de 0,10 L/s a 0,80 L/s, puesto que con este rango de caudal se cubrió el intervalo de velocidad superficial con la que trabajan los filtros comerciales.

Resultados y Discusión

En la figura 3 se compara la caída de presión total en el conjunto del filtro en función del caudal para los tres diseños modelizados.

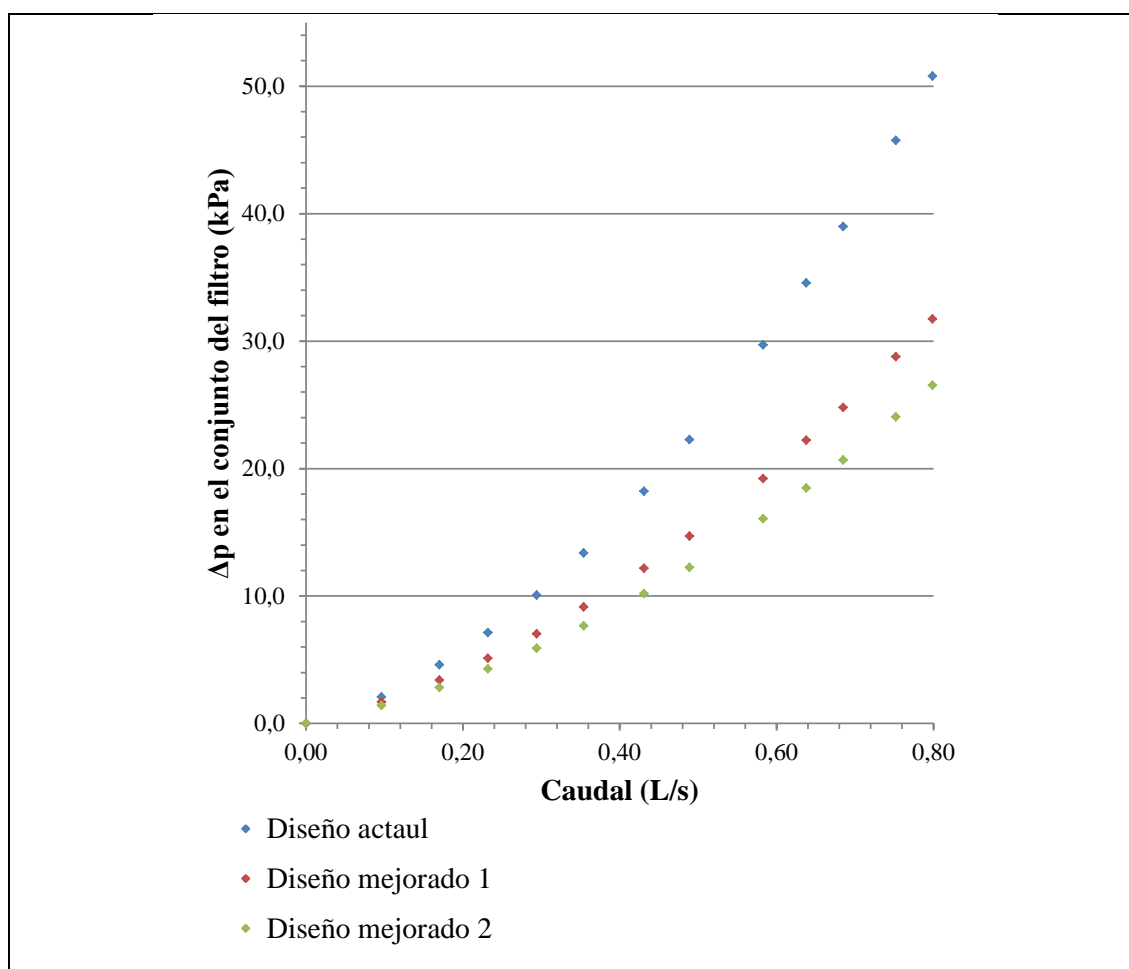


Figura 3. Caída de presión en el conjunto del filtro en función del caudal para los tres diseños modelizados.

Se puede observar que la reducción de caída de presión con la primera propuesta de mejora fue de un 35% respecto al diseño original, que se redujo hasta un 45% para la segunda propuesta.

Para comprender donde se produjo esta disminución de la caída de presión, en la figura 4 se comparan los perfiles de presión a lo largo del eje longitudinal bajo unas mismas condiciones de contorno (caudal = 0,489 L/s, presión en la salida = 79 kPa).

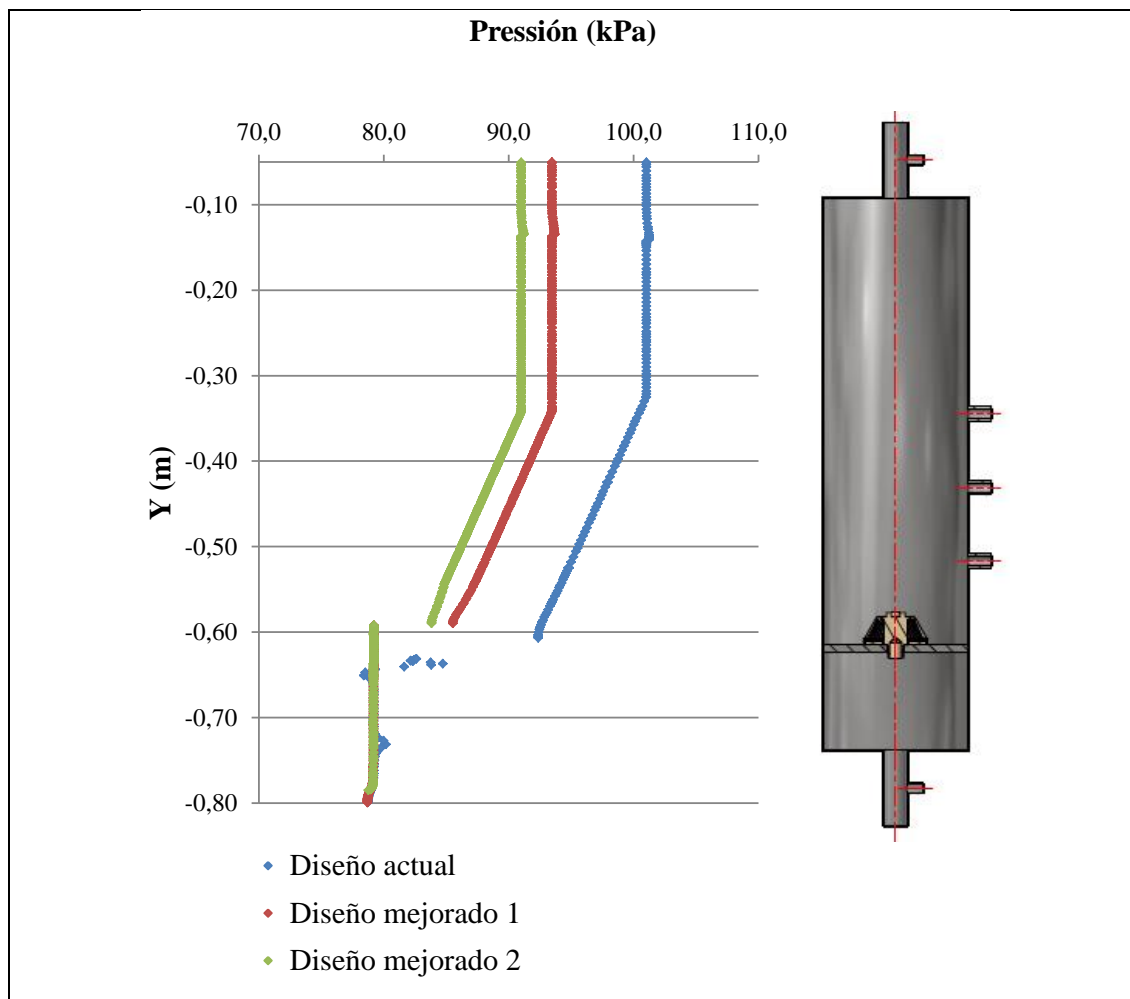


Figura 4. Perfiles de presión a lo largo del eje longitudinal del filtro para los tres diseños modelizados bajo unas mismas condiciones de contorno (caudal = 0,489 L/s, presión en la salida = 79 kPa)

La reducción de la caída de presión se localiza, en los dos nuevos diseños, en el entorno del drenaje. La diferencia en el perfil de presiones es debida a que en el diseño actual se alcanza una velocidad superior en el paso entre el drenaje y el colector de salida. En el caso del diseño actual, la caída de presión en el drenaje es del 60% del total del filtro. En el caso del diseño mejorado 1, la caída de presión en el entorno del drenaje disminuye hasta un 43% de la total del conjunto del filtro, lo que supone una reducción de la caída en esta zona del 45%. En el caso del diseño mejorado 2, la caída de presión en el entorno del drenaje baja hasta un 37% de la del total del conjunto del filtro, lo que supone una disminución de la caída en esta zona del 67%.

Conclusiones

El estudio de diseños hidráulicos mediante CFD es muy útil para identificar los puntos críticos a nivel de caída de presión que, en el caso de los filtros de medio granular utilizados en riego por goteo, son los elementos de drenaje. Con estos puntos bien identificados, se realizaron dos propuestas de diseño enfocados a reducir la caída de presión en el drenaje. Aumentando la sección de la conducción entre el drenaje y la salida del filtro e introduciendo ranuras que intercepten el fluido de manera perpendicular al flujo, la caída de presión en el conjunto del filtro se redujo un 35% lo que supuso que la reducción de la caída de presión en el drenaje fue del 45%. Al

recubrir el drenaje con un material granular con una conductividad hidráulica superior al medio filtrante, la caída de presión en el conjunto del filtro disminuyó un 45%, básicamente por la reducción de un 67% de la caída de presión en la zona de drenaje.

Bibliografía

- ANSYS. 2009. ANSYS Fluent 12.0 user's guide.
- Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Montoro, L., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F. 2013. An experimental and analytical study to analyze hydraulic behavior of nozzle-type underdrains in porous media filters. *Agricultural Water Management* 126, 64-74.
- Ayars J.E., Bucks D.A., Lamm F.R., Nakayama F.S. 2007. Introduction. En: Lamm F.R., Ayars, J.E., Nakayama, F.S. (eds.) *Microirrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*, Elsevier, Amsterdam.
- Bové, J., Arbat, G., Pujol, T., Duran-Ros, M., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F., Puig-Bargués, J. 2015. Caracterización de la caída de presión en filtros granulares rellenos con arena y vidrio reciclado. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Orihuela – Algorfa, 1-3 junio de 2015.
- Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F., 2009. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management* 96 (1), 67–79.
- Mesquita, M., Testezlaf, R., Ramírez, J. 2012. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, 115, 178-185.
- Li, Y., Liu, H., Peiling, Y., Wu, D. 2013. Analysis of tracing ability of different sized particles in drip irrigation emitters with computational fluid dynamics. *Irrigation and Drainage*, 62: 340-351.

R05 - Evaluación agro-hidrológica del sistema de riego localizado de un olivar en seto con HYDRUS 2D/3D

Egea, G.¹, Díaz-Espejo, A.², Fernández, J.E.²

¹ Área de Ingeniería Agroforestal, ETSIA, Universidad de Sevilla, Ctra, Utrera km1, 41013 Sevilla, gegea@us.es; ² Grupo de Riego y Ecofisiología de los Cultivos, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS, CSIC), Avenida Reina Mercedes, n.º 10, 41012 Sevilla.

Resumen

La validación de herramientas computacionales que permitan optimizar tanto el diseño como el manejo de los sistemas de riego localizado bajo múltiples escenarios y condiciones medioambientales resulta de gran interés para poder alcanzar las eficiencias de uso del agua esperadas de una forma más rápida y económica que mediante la realización de ensayos de campo. En este trabajo se ha validado el modelo HYDRUS 2D/3D para simular las variaciones espaciotemporales (i.e. a lo largo de la campaña de riego) de la humedad del suelo en un olivar en seto ubicado en la provincia de Sevilla (España) y regado bajo tres estrategias de manejo del riego: una estrategia aportando las necesidades hídricas del cultivo (FI), y dos estrategias de riego deficitario con distinto nivel de déficit. Los resultados indican que HYDRUS 2D/3D simuló con un alto nivel de precisión las variaciones temporales, espaciales y verticales del contenido de agua en el suelo tanto en condiciones hídricas limitantes como no limitantes. El modelo ha permitido determinar las componentes estacionales del balance hídrico del suelo para los tres tratamientos de riego. FI presentó una evaporación acumulada alrededor del 15-20% superior a los tratamientos deficitarios. La fracción de drenaje acumulada representó, en todos los casos, 10-12% del volumen de agua de riego aplicado. Resultados de simulaciones realizadas para diversos escenarios son presentados y discutidos.

Palabras clave: agua en el suelo, balance hídrico, modelización, *Olea europaea*, riego deficitario.

Agro-hydrologic assessment of a drip-irrigated hedgerow olive orchard with HYDRUS 2D/3D

Abstract

Validation of computational tools that allow optimizing irrigation system design and management under multiple scenarios and environmental conditions is of great interest to achieve the expected irrigation efficiencies in a less time-consuming and costly way than conducting field trials. In this work, the model HYDRUS 2D/3D has been validated to simulate the spatiotemporal (i.e. through the irrigation season) soil water dynamics in a drip-irrigated hedgerow olive orchard located near Seville (south-western Spain) and submitted to three irrigation strategies: a fully irrigated treatment supplying crop's water needs (FI), and two deficit irrigation treatments differing in the level of water shortage. The simulation outputs indicate that HYDRUS 2D/3D is able to reproduce with high degree of accuracy the temporal, spatial and vertical dynamics of soil water content under both limiting and non-limiting soil water conditions. The components of the seasonal soil water balance were also estimated by HYDRUS 2D/3D. FI plots had 15-20% higher cumulative soil evaporation than the deficit irrigated plots. Deep percolation in FI doubled that of the deficit treatments, although it represented 10-12% of irrigation water supply in all cases. Simulation outputs derived for other scenarios are presented and discussed.

Keywords: deficit irrigation, modeling, *Olea europaea*, soil water, water balance

Introducción

La escasez de agua y la presión creciente para incrementar la eficiencia de riego han contribuido a que los sistemas de riego localizado se expandan por todo el mundo. Sin embargo, la adopción de esta tecnología de riego por parte de los agricultores no representa, por sí sola, una garantía para que se alcance la alta eficiencia de aplicación

de agua deseada, entendida como el cociente entre la fracción de agua disponible para las plantas y el total de agua aplicada. Esto se debe al gran número de factores de diseño y manejo que condicionan el comportamiento de estos sistemas de riego. La evaluación de la eficiencia de riego de los sistemas de riego localizado requiere la estimación de las componentes del balance hídrico del suelo. En este sentido, los modelos numéricos que representan el movimiento del agua en el suelo pueden usarse tanto para evaluar como para mejorar el comportamiento de los sistemas de riego localizado bajo múltiples escenarios y condiciones ambientales. Una vez que han sido validados para un sistema de cultivo determinado, estas herramientas informáticas permiten proporcionar información muy valiosa para el proceso de toma de decisión tanto del diseño como del manejo del sistema de riego, con la ventaja de ser una opción de evaluación mucho más rápida y económica que la realización de ensayos de campo.

Las plantaciones de olivar en seto con alta densidad de plantas, también conocidas como plantaciones superintensivas, son sistemas de producción que requieren aportes de agua mediante sistemas de riego localizado para garantizar la rentabilidad del cultivo. En comparación con los sistemas de cultivo con menor densidad de plantas, las plantaciones de olivar superintensivo presentan una serie de particularidades que pueden incrementar los efectos negativos de un diseño o manejo inadecuado del sistema de riego (Fernández *et al.*, 2013). El sistema radicular de estos árboles explora normalmente pequeños volúmenes de suelo, en comparación con los sistemas de plantación tradicionales (Díaz-Espejo *et al.*, 2012), por lo que la capacidad tampón del suelo es muy inferior en el olivar superintensivo y el riesgo de que una parte del agua de riego aplicada no esté disponible para la planta es alto. Esto es aún más relevante si se tiene en cuenta que la productividad y la sostenibilidad a largo plazo de este tipo de plantaciones están condicionadas por programaciones de riego relativamente complejas que requieren precisos aportes de agua en periodos concretos del cultivo (Fernández *et al.*, 2013).

Con la intención de incrementar la eficiencia de riego en las plantaciones de olivar superintensivo, el presente trabajo se planteó con el objetivo de validar el modelo HYDRUS 2D/3D para simular la dinámica del agua en el suelo en plantaciones de olivar superintensivo sometidas a diferentes manejos del riego. El modelo, una vez validado, se utilizó para evaluar el impacto de tres tipos de suelo típicos de la zona de estudio sobre el comportamiento agro-hidrológico de las distintas estrategias de riego aplicadas.

Material y Métodos

Condiciones experimentales, tratamientos de riego y medidas realizadas

El experimento se realizó en 2012 en un olivar superintensivo comercial cerca de Sevilla (37° 15' N, -5° 48' W). Los olivos (*Olea europaea* L. 'Arbequina'), de 6 años de edad, se plantaron en el centro de caballones de 0,4 m de alto por 1,1 m de ancho (1,5 m en la base) a un marco de 4 m x 1,5 m (1667 árboles ha⁻¹). El sistema de riego se diseñó con un lateral de riego por fila de árboles y tres goteros autocompensantes de 2 L h⁻¹ por árbol y separados 0,5 m. Se realizó un control químico de malas hierbas en la parte inferior de los árboles y la cubierta vegetal existente entre las filas de árboles durante los meses invernales se eliminó durante el período de primavera/verano. El clima de la zona de estudio es típico Mediterráneo caracterizado por inviernos templados y veranos secos y calurosos. En 2012, la temperatura media mensual de los meses más calurosos

(julio agosto) fue de 26,0 °C y 35,3 °C, respectivamente. La precipitación anual fue de 457 mm, sin registrarse episodios de lluvia durante el periodo junio-agosto. El suelo de la finca presenta una capa superficial (0–0,4 m) de textura franco arenosa y una capa inferior de textura arcillo-arenosa.

Se aplicaron tres tratamientos de riego: un tratamiento control (FI) que cubrió las necesidades hídricas del cultivo; y dos tratamientos de riego deficitario (DI) que aplicaron aproximadamente el 60% (DI₆₀) y el 30% (DI₃₀) del agua aplicada a FI a lo largo de la estación de riego (del 5 de junio, día del año – DDA– 156, al 22 de octubre, DDA 295). Para más información relacionada con los tratamientos de riego, ver Fernández *et al.* (2013). Los tres tratamientos siguieron un diseño de bloques al azar con cuatro bloques de 12 m x 16 m por tratamiento. Las necesidades hídricas máximas del cultivo se calcularon mediante la diferencia $ET_c - P_e$, donde ET_c es la evapotranspiración máxima del cultivo en condiciones estándar y P_e es la precipitación efectiva. El contenido volumétrico de agua en el suelo (θ) se midió en todos los bloques (cuatro por tratamiento) con una sonda de capacitancia (Delta-T Devices Ltd., PR2-type Profile Cambridge, UK) calibrada *in situ*, y dos tubos de acceso por bloque instalados a 0,5 m del tronco. De acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante, la precisión de la sonda PR2, una vez calibrada, puede ser del orden de $\pm 0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Los tubos de acceso se colocaron a una distancia de 0,1 m y 0,4 m del emisor. Las medidas de θ se hicieron 1–2 veces por semana a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6 y 1,0 m de profundidad a lo largo de la estación de riego.

Modelización del agua en el suelo, datos de entrada y escenarios planteados

El modelo HYDRUS 2D/3D (v. 1.11) fue utilizado para simular el movimiento del agua en el suelo en un dominio de flujo bidimensional y a escala horaria (Šimůnek *et al.*, 2006). Las simulaciones se realizaron para el periodo DDA 92 – 289 (abril – mediados de octubre). El modelo resuelve numéricamente la ecuación de Richards', incorporando un término sumidero para representar la absorción de agua radicular (AAR). Para más información sobre el código HYDRUS, ver Šimůnek *et al.* (2006).

Las propiedades hidráulicas del suelo se determinaron con la ecuación de van Genuchten (1980), para lo que se utilizó el modelo Rosetta incluido en HYDRUS. Los parámetros obtenidos se proporcionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros hidráulicos del suelo utilizados en las simulaciones. θ_r : contenido de agua residual; θ_s : contenido de agua a saturación; α , n and l : parámetros de la ecuación de van Genuchten; K_s : conductividad hidráulica a saturación.

Profundidad (cm)	Textura	θ_r ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	n	K_s (cm h^{-1})	l
0-40	Franco-arenosa	0.0261	0.3376	0.0197	1.3631	2.5192	0.5
40-100	Arcillo-arenosa	0.0654	0.3345	0.0305	1.1597	0.2213	0.5

La distribución del sistema radicular se definió a partir de medidas realizadas en la propia finca experimental (Díaz-Espejo *et al.*, 2012). HYDRUS utiliza el modelo de distribución radicular de Vrugt *et al.* (2001), para el que se definieron los siguientes parámetros: $X_m = 55 \text{ cm}$; $Z_m = 35 \text{ cm}$; $x^* = 10 \text{ cm}$; $z^* = 10 \text{ cm}$; $p_x = 2$; $p_z = 1$. La reducción de la tasa de absorción de agua por parte de la raíces por efecto del estrés hídrico se modelizó con la ecuación de Feddes *et al.* (1978). En base a los conocimientos previos sobre la especie y a medidas fisiológicas realizadas en la propia parcela experimental, se definieron los siguientes parámetros para la ecuación de

Feddes: $h_1 = -10$ cm; $h_2 = -25$ cm; $h_3 = -3000$ to -5000 cm; $h_4 = -18000$ cm (ver documentación del modelo para más información sobre el significado de estos parámetros).

El dominio de flujo se definió como un rectángulo de dimensiones 200 cm \times 60 cm con un trapecoide rectangular (base corta = 55 cm; base larga = 75 cm; altura = 40 cm) ubicado en su parte superior izquierda (Figura 1). Este dominio corresponde a un plano vertical perpendicular a los laterales de riego que abarca desde el emisor hasta la mitad de la calle entre filas de árboles. En cada simulación se verificó que el error relativo del balance hídrico del suelo no excediera el 1%. Se definieron doce nodos de observación, coincidiendo con las localizaciones donde se midió θ . Las condiciones de contorno que se definieron en el dominio de flujo fueron las siguientes: (i) condición de contorno de flujo nulo en los laterales derecho e izquierdo del dominio de flujo; (ii) condición de contorno de drenaje libre en la parte inferior del dominio de flujo; (iii) una condición de contorno atmosférica en el límite superior del dominio de flujo, a excepción de cinco nodos localizados en la parte inferior del emisor, en los que se definió (iv) una condición de contorno de flujo variable en el tiempo para representar los aportes de riego variables en el tiempo.

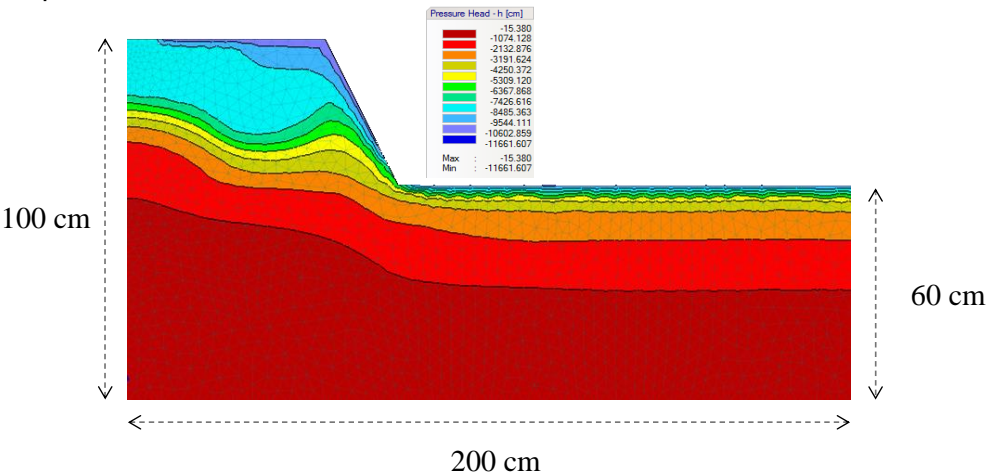


Figura 1. Dominio de flujo (2D) mostrando los valores simulados de potencial hídrico del suelo (h , cm) durante un instante determinado de una simulación estacional.

Tabla 2. Descripción de los escenarios de riego simulados en este trabajo. Los escenarios E1 a E3 están basados en FI, E4 a E6 en DI₆₀, y E7 a E9 en DI₃₀.

Escenario	Descripción
E1	FI. Suelo: franco-arcillo-arenoso
E2	FI. Suelo: franco
E3	FI. Suelo: franco-limoso
E4	DI ₆₀ . Suelo: franco-arcillo-arenoso
E5	DI ₆₀ . Suelo: franco
E6	DI ₆₀ . Suelo: franco-limoso
E7	DI ₃₀ . Suelo: franco-arcillo-arenoso
E8	DI ₃₀ . Suelo: franco
E9	DI ₃₀ . Suelo: franco-limoso

Los valores horarios de transpiración potencial (E_p) y evaporación potencial del suelo (E_s) se obtuvieron a partir de valores horarios de ET_c calculados mediante el método del coeficiente de cultivo. El reparto de ET_c en sus componentes E_p y E_s se realizó en base a los resultados obtenidos por Orgaz *et al.* (2006) y Testi *et al.* (2006) para plantaciones de olivar con riego por goteo en la misma zona de estudio. La tabla 2 resume los diferentes escenarios de tipo de suelo que se han evaluado en este estudio.

Validación del modelo y análisis estadístico

La validación del modelo HYDRUS 2D/3D se realizó mediante la comparación de valores medidos y simulados de humedad del suelo a lo largo de la estación de riego de 2012. No se dispuso de un periodo de tiempo para calibración del modelo, pues tanto parámetros como condiciones de contorno fueron determinados *in situ* u obtenidos de la literatura para la misma especie. La comparación entre valores medidos y simulados se realizó mediante el Error Absoluto Medio (EAM , Ecuación 1), considerado un estadístico robusto para evaluar el comportamiento de un modelo frente a valores medidos.

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i - S_i| \quad (1)$$

donde N es el número de comparaciones realizadas, M_i la medida correspondiente al punto i y S_i el valor simulado correspondiente al punto i .

Resultados

Las Figuras 2 y 3 comparan los valores medidos y simulados de θ (promediados para el perfil 0-100 cm) a 10 cm y 40 cm de distancia del emisor, respectivamente. En el tratamiento FI, el nivel de coincidencia entre valores medidos y simulados fue alto a ambas distancias del emisor (Figuras 2a, 3a), como reflejan los valores de EAM obtenidos ($0,019 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0,012 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 10 cm y 40 cm, respectivamente). En los tratamientos deficitarios, el nivel de coincidencia entre valores medidos y simulados fue algo inferior al observado para FI. En DI_{60} , los valores de EAM obtenidos fueron de $0,034 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0,038 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 10 cm y 40 cm, respectivamente (Figuras 2b, 3b), mientras que los valores correspondientes para DI_{30} fueron $0,037 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $0,013 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente (Figuras 2c, 3c). Los valores de EAM obtenidos para cada profundidad de estudio (datos no mostrados) variaron en el rango $0,014 - 0,048 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (FI), $0,032 - 0,058 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (DI_{60}) y $0,015 - 0,068 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (DI_{30}).

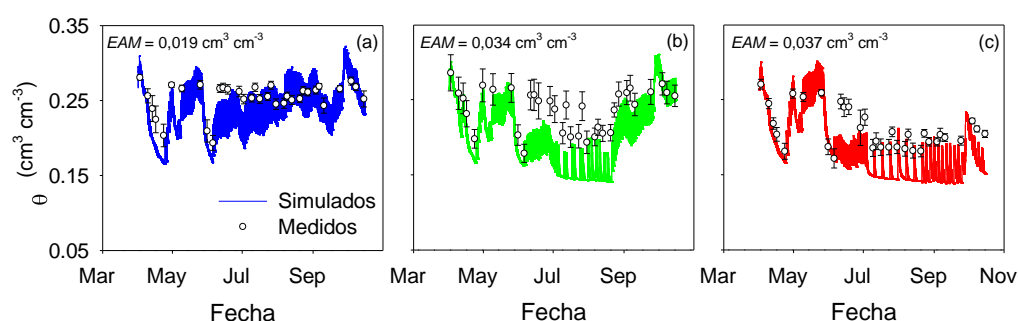


Figura 2. Contenido volumétrico de humedad (θ) medido y simulado para los tratamientos FI (a), DI_{60} (b) y DI_{30} (c). Los valores presentados representan el promedio de θ en el perfil 0-100 cm a una distancia horizontal del emisor de 10 cm. EAM: Error Absoluto Medio.

El análisis de las componentes del balance hídrico simuladas (Tabla 3) indicó que, durante el período DDA 92 – 289, la evaporación del suelo (E_s) en el tratamiento FI (83 mm) fue un 19% superior a la simulada en los tratamientos deficitarios. Por su parte, AAR (equivalente al flujo de transpiración) representó alrededor del 94, 103 y 121% del agua de riego aplicada en FI, DI₆₀ y DI₃₀, respectivamente. La pérdida de agua por percolación profunda (D) en DI₆₀ y DI₃₀ fue 51% y 58% inferior, respectivamente, a la de FI. El potencial hídrico medio de la zona radicular (h_r) para el periodo DDA 185-233 (periodo de déficit en DI₆₀ y DI₃₀) fue de -466 cm en FI, y de -12747 cm y -12639 cm en DI₆₀ y DI₃₀, respectivamente.

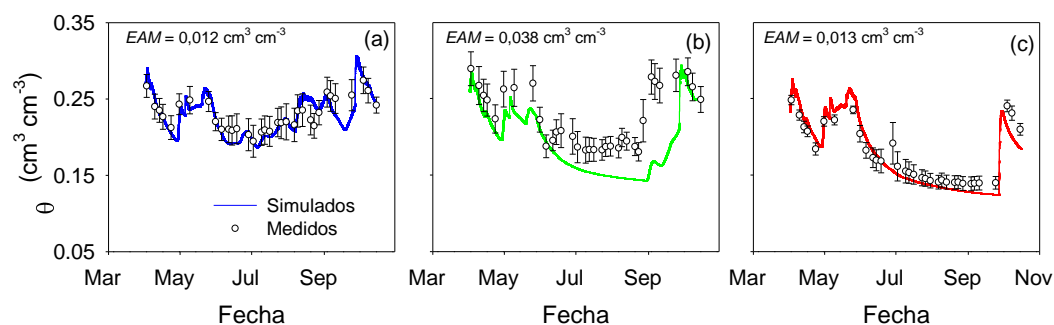


Figura 3. Contenido volumétrico de humedad (θ) medido y simulado para los tratamientos FI (a), DI₆₀ (b) y DI₃₀ (c). Los valores presentados representan el promedio de θ en el perfil 0-100 cm a una distancia horizontal del emisor de 40 cm. EAM: Error Absoluto Medio.

Tabla 3. Componentes del balance hídrico del suelo para los tres tratamientos de riego y los escenarios evaluados (Tabla 2) durante el período DDA 92–289. R: riego; LL: lluvia; AAR: absorción de agua radicular; E_s : evaporación del suelo; D : drenaje; ΔS : almacenamiento de agua en el suelo; h_r = potencial hídrico medio en la zona radicular durante el período DDA 185–233 (período de déficit hídrico en DI₆₀ y DI₃₀).

Escenario	R (mm)	LL (mm)	E_s (mm)	AAR (mm)	D (mm)	ΔS (mm)	h_r (cm)
FI	540	130	83 (13)	510 (77)	67 (10)	8	-466
E1	540	130	62 (9)	473 (69)	150 (22)	-16	-1966
E2	540	130	69 (10)	488 (72)	119 (18)	-7	-1562
E3	540	130	78 (12)	495 (78)	55 (9)	38	-1213
DI ₆₀	356	130	70 (15)	367 (78)	33 (7)	15	-12747
E4	356	130	54 (11)	346 (69)	100 (20)	-13	-12382
E5	356	130	60 (12)	356 (72)	77 (16)	-6	-12254
E6	356	130	70 (15)	359 (79)	26 (6)	31	-11990
DI ₃₀	229	130	71 (19)	277 (73)	28 (7)	-19	-12639
E7	229	130	54 (14)	251 (65)	84 (22)	-30	-12831
E8	229	130	61 (16)	262 (67)	71 (18)	-34	-12473
E9	229	130	71 (19)	268 (73)	25 (7)	-7	-11978

Nota: Los números en paréntesis representan el valor porcentual de cada componente del balance con respecto a la fuente total de agua ($R+LL-\Delta S$).

El análisis agro-hidrológico de los tratamientos de riego bajo diferentes tipos de suelo también se muestra en la Tabla 3. Los resultados de las simulaciones realizadas con HYDRUS 2D/3D muestran que, bajo un suelo de textura franco-arcillo-arenosa homogéneo, el agua perdida por drenaje aumentaría 2,2 veces en FI y alrededor de 3 veces en DI₆₀ y DI₃₀, mientras que AAR disminuiría alrededor del 6% al 9% en todos los tratamientos. Por el contrario, con este tipo de suelo, las pérdidas por E_s serían alrededor del 25% más bajas que las simuladas para el suelo de la parcela experimental. Los valores medios de h_r indican que en FI estos valores serían substancialmente inferiores a los obtenidos en la parcela experimental ($h_r = -1966$ cm), mientras que no se observarían diferencias en este sentido en los tratamientos deficitarios.

En el caso de un suelo franco homogéneo, las pérdidas de agua por drenaje serían inferiores a las de un suelo de textura franco-arcillo-arenosa, aunque todavía significativamente superiores a las obtenidas en el suelo de la parcela experimental. Los valores acumulados de E_s y AAR para este tipo de suelo serían también inferiores (14–17% y 3–5%, respectivamente) a los obtenidos en la parcela experimental. El tercer tipo de suelo evaluado (franco-limoso), presentaría valores similares de E_s , pérdidas de agua por drenaje inferiores (especialmente en FI), aumentos en el almacenamiento de agua en el suelo (ΔS) al final de la estación de riego y valores de AAR ligeramente inferiores a los observados en el suelo de la parcela experimental en los tres tratamientos de riego.

Discusión

Los modelos del movimiento del agua en el suelo que han sido validados mediante ensayos de campo son herramientas valiosas para incrementar la eficiencia de riego a través de la optimización tanto del diseño como del manejo del sistema de riego. Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación demuestran que el modelo HYDRUS 2D/3D permitió simular las variaciones espaciotemporales del contenido de humedad del suelo con relativa precisión en un olivar superintensivo sometido a diferentes manejos del riego.

Los valores de EAM obtenidos en este trabajo están dentro del mismo orden de magnitud que los obtenidos por Phogat *et al.* (2014) en una plantación de cítricos usando el mismo software. Así mismo, los valores de EAM obtenidos son inferiores o ligeramente superiores (para algunas profundidades del suelo, datos no mostrados) a la precisión de la sonda de humedad del suelo utilizada (± 0.04 cm³ cm⁻³), indicando la bondad de la predicciones realizadas con HYDRUS 2D/3D.

La eficiencia de riego, definida como el ratio entre AAR (i.e. fracción de agua utilizada por la planta) y el total de agua disponible en el dominio de flujo (i.e. $R + LL - \Delta S$; Tabla 3) fue del 77%, 78% y 73% en FI, DI₆₀ y DI₃₀, respectivamente. Estos valores indican que, en términos de manejo del riego, FI y DI₆₀ fueron aproximadamente un 5% más eficientes que DI₃₀ en el proceso de conversión de agua disponible en agua productiva. Estas diferencias se pueden explicar por el hecho de que DI₆₀ presentó pérdidas de agua por E_s inferiores a FI (en consonancia con un volumen de riego inferior), mientras que DI₃₀ y DI₆₀ mostraron valores similares de E_s a pesar de sus diferencias en los volúmenes de riego aplicados (Tabla 3). Estos resultados también confirman que la programación del riego realizada en FI cumplió con los objetivos deseados, pues mantuvo condiciones no limitantes de agua en el cultivo (solo 5% de reducción en los valores acumulados de AAR con respecto a la tasa potencial; datos no mostrados) con

pérdidas de agua por D y E_s (expresadas como porcentaje del total de agua disponible) en un orden de magnitud similar (D) o incluso inferior (E_s) a los tratamientos deficitarios (Tabla 3).

Los valores de h_r simulados durante el período de déficit fueron similares en DI_{60} y DI_{30} a pesar de que DI_{30} recibió menos volumen de riego (35% inferior) que DI_{60} (Tabla 3). Estos resultados confirman observaciones previas realizadas por Fernández *et al.* (2013), quienes observaron niveles de humedad similar en la zona radicular entre DI_{60} y DI_{30} durante el período de déficit (DDA 185–233). Estos autores diseñaron y evaluaron satisfactoriamente una estrategia de riego deficitario mejorada para plantaciones de olivar superintensivo. Sin embargo, dado que el tipo de suelo es un factor agronómico clave que puede alterar los resultados esperados al extrapolar las estrategias de riego a otras plantaciones, el modelo HYDRUS 2D/3D fue utilizado para evaluar (en términos de balance hídrico del suelo) el comportamiento que habrían tenido las estrategias de riego ensayadas en otros tipos de suelo representativos de Andalucía occidental. Los resultados obtenidos en las simulaciones evidencian la importancia de adoptar criterios de programación del riego adaptados a los diferentes tipos de suelo, pues de lo contrario los resultados obtenidos pueden diferir considerablemente de los esperados (Tabla 3). En este sentido, el modelo HYDRUS 2D/3D puede ser utilizado de forma fiable en el proceso de optimización del manejo del riego en plantaciones de olivar superintensivo bajo condiciones particulares de tipo de suelo y volúmenes de riego.

Conclusiones

El modelo HYDRUS 2D/3D simuló con un nivel de precisión razonablemente alto las variaciones espaciotemporales del contenido de humedad del suelo en un olivar superintensivo regado con riego por goteo bajo condiciones limitantes y no limitantes de agua. Las componentes simuladas del balance hídrico del suelo indicaron que la eficiencia de riego fue similar en FI y DI_{60} y ligeramente inferior en DI_{30} . Las simulaciones realizadas para diferentes tipos de suelo representativos de la zona de estudio mostraron la importancia de adaptar los programas de riego al tipo de suelo, pues de lo contrario volúmenes de riego similares pueden dar lugar a diferencias importantes en las fracciones de agua absorbidas por el cultivo y las pérdidas de agua por percolación profunda.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto AGL2009-11310/AGR) y por la Junta de Andalucía (Proyecto AGR-6456).

Bibliografía

- Díaz-Espejo, A., Buckley, T. N., Sperry, J. S., Cuevas, M. V., de Cires, A., Elsayed-Farag, S., *et al.* 2012. Steps toward an improvement in process-based models of water use by fruit trees: A case study in olive. *Agric Water Manage.* 114, 37–49.
- Feddes, R. A., Kowalik, P. J., Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield, John Wiley & Sons, New York, NY.
- Fernández, J. E., Pérez-Martin, A., Torres-Ruiz, J. M., Cuevas, M. V., Rodríguez-Domínguez, C. M., Elsayed-Farag, S., *et al.* 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil.* 372, 279–295.
- Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F. J., Fereres, E. 2006. Water requirements of olive orchards—II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. *Irrig Sci.* 24, 77–84.
- Phogat, V., Skewes, M. A., Cox, J. W., Sanderson, G., Alam, J., Šimůnek, J. 2014. Seasonal simulation of water, salinity and nitrate dynamics under drip irrigated mandarin (*Citrus reticulata*) and assessing management options for drainage and nitrate leaching. *J Hydrol.* 513, 504–516.
- Šimůnek, J., Sejna, M. and van Genuchten, M. Th. 2006. The HYDRUS software package for simulating the two- and three- dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. In: Technical Manual, version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic, pp. 213.
- Testi, L., Villalobos, F. J., Orgaz, F., Fereres, E. 2006. Water requirements of olive orchards: I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrig Sci.* 24, 69–76.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci Soc Am J.* 44, 892–898.
- Vrugt, J. A., Hopmans, J. W., Šimůnek, J. 2001. Calibration of a two-dimensional root water uptake model. *Soil Sci Soc Am J.* 65, 1027–1037.

R06 - Optimización del riego y consumo de agua en jardines verticales exteriores a solución perdida en clima mediterráneo seco

Franco-Salas, A.¹; Egea, G. ¹; Pérez-Urrestarazu, L. ¹; Fernández-Cañero, R. ²

¹ Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla. ETSIA. Ctra. de Utrera km 1. 41013 Sevilla. E-mail: afranco@us.es, gegea@us.es, lperez@us.es; ² Dpto. Ciencias Agroforestales. Universidad de Sevilla. ETSIA. Ctra. de Utrera km 1. 41013 Sevilla. E-mail: rafafc@us.es

Resumen

Los sistemas de jardinería vertical son una innovadora técnica de Naturación Urbana que constituyen una potente herramienta para la arquitectura sostenible y el diseño bioclimático. Un Jardín vertical consta de un medio de cultivo para el alojamiento y desarrollo de la vegetación en un plano vertical siendo imprescindible la instalación de un sistema de riego por goteo para el aporte de agua y nutrientes a las plantas. Cada vez es mayor la superficie instalada de jardines verticales en entornos urbanos y por tanto es necesario optimizar el manejo del agua de riego. El presente trabajo tiene como objetivo inicial la optimización del tiempo de riego en un jardín vertical exterior a solución perdida instalado en Sevilla y en segundo lugar la evaluación diaria del consumo de agua. Los ensayos se realizaron durante el periodo estival de 2013 y 2014. Se han utilizado dos módulos de 2x1 m de jardín vertical multicapa con una disposición de 36 plantas/m². Cada módulo está compuesto por dos láminas geotextiles unidas entre sí formando bolsillos de 15x15 cm y una lámina impermeable que se fija directamente a la pared mediante un perfil metálico. El sistema de riego consta de una tubería de PE con goteros pinchados ubicada en la parte superior del jardín. El agua drenada en cada evento de riego se recogió con un canalón instalado en la parte inferior de cada módulo. Mediante un contador volumétrico y un pluviómetro se registró el volumen de agua entrante (riego) y saliente (drenaje) en cada módulo, respectivamente. También se registraron las variables microclimáticas más representativas (radiación solar, temperatura y humedad relativa del aire). El trabajo presenta y discute los hidrogramas de salida obtenidos para tres caudales de gotero diferentes (2, 4 y 8 l/h) así como las necesidades hídricas del jardín en el periodo de mayor demanda evaporativa. Los resultados indican que los tiempos de riego que maximizan la distribución uniforme del agua en el jardín no son adecuados para sistemas a solución perdida, por su excesivo drenaje. En estos sistemas, la aplicación de riego por pulsos resultó ser más adecuada. La evapotranspiración del jardín mostró un alto grado de correlación con la evapotranspiración de referencia, obteniéndose un coeficiente global de jardín de 0.75.

Palabras clave: Naturación urbana, diseño del sistema, necesidades hídricas, programación riegos.

Optimization of irrigation and water consumption assessment of non-recirculating outdoor living walls under Mediterranean climate

Abstract

Living walls (LW) are innovative Urban Greening systems that represent a promising tool for sustainable construction and bioclimatic design. LW use a growing media to support plant establishment and growth in a vertical plane. A drip irrigation system is mandatory to be installed to supply water and nutrients to plants. As the number of LW installed in urban areas is rapidly growing, it is important to conduct studies to optimize irrigation water use. This work has therefore two main objectives: (i) optimizing irrigation scheduling in a non-recirculating outdoor LW installed near Seville (SE Spain), and (ii) assessing LW daily water needs over the summer period. The experimental setup consisted of two 2x1 m multilayer LW modules with a plant density of 36 plants m⁻². Each module consisted of two geotextile layers sewn together and forming 15x15 cm pockets, and a waterproof layer facing the wall. The system is attached to the wall by means of a metal profile. The drip irrigation system consisted of a PE drip line placed in the upper part of the LW with drippers spaced 15 cm. Water losses by drainage (i.e. runoff) were collected with a semi-

circular gutter placed at the bottom of each LW module. Both water applied and water lost by drainage were recorded for each irrigation event with a volumetric water meter and rain gauge, respectively. The main microclimatic variables (solar radiation, air temperature and relative humidity) were also recorded. The runoff hydrographs obtained for three different emitter discharge rates (2, 4 and 8 l/h), as well as the estimated LW water requirements are presented and discussed. The results indicate that, for lost solution systems, pulse drip irrigation is more suitable than applying irrigation times that maximize water distribution. Living Wall evapotranspiration was highly correlated with reference evapotranspiration, which allowed to derive a mean garden coefficient of 0.75.

Keywords: Urban greening, system design, water requirements, scheduling.

Introducción

La jardinería vertical constituye una nueva corriente que se presenta como una alternativa a los sistemas de ajardinamiento y construcción tradicionales, y que, básicamente, consiste en el diseño y construcción de superficies ajardinadas en un plano vertical (Blanc, 2008).

Existen numerosos beneficios, asociados de forma general al uso de plantas ornamentales tanto en el exterior como en el interior de la edificación, que se obtienen gracias a la inclusión de sistemas de ajardinamiento vertical. Éstos pueden ser de varios tipos: energéticos, como el aumento del aislamiento térmico de la envolvente edificatoria (Kontoleon y Eumorfopoulou, 2010; Perini *et al.*, 2011; Hunter *et al.*, 2014), el ahorro en el consumo energético de la instalación de ventilación (reducen necesidad de ventilación al mejorar biofiltrado del aire) y la reducción de la temperatura del aire de su entorno (Fernández-Cañero *et al.* 2012; Franco *et al.* 2012) aumento de la biodiversidad en el entorno urbano (Dunnett y Kinsbury, 2004), contribución a la reducción del efecto isla de calor en las ciudades (Ushada y Murase, 2009; Ip *et al.*, 2010), y la depuración del aire en el interior de los edificios reteniendo partículas en suspensión y sustancias contaminantes, constituyendo una importante herramienta para luchar contra el denominado “Síndrome del Edificio Enfermo” (Darlington *et al.*, 2000; Meier, 2010); ambientales como la mejora de calidad del aire, con la fijación de CO₂ y VOC (Currie y Bass, 2005), producción de oxígeno, mejora de la calidad ambiental; además de otros beneficios más intangibles como el aumento del confort visual, la reducción del estrés y el absentismo laboral (Tuomainen *et al.*, 2002) o la mejora del aislamiento acústico (Ottelé *et al.*, 2010),. A pesar de que los elevados costes de instalación de estos sistemas, Perini y Rosasco (2013) plantean que a través de incentivos económicos, como reducción de impuestos, se podrían reducir los costes iniciales de estas instalaciones y permitir una difusión más amplia de los sistemas de jardinería vertical para reducir los problemas ambientales en las zonas urbanas densas.

Tradicionalmente, la técnica empleada para cubrir con vegetación las fachadas y paredes ha consistido en plantar en el suelo plantas trepadoras que colonizan las superficies verticales de forma natural o dirigida mediante fijaciones y sistemas de anclajes a la edificación. Más recientemente se han propuesto sistemas que permiten el crecimiento de la vegetación en las fachadas y paredes mediante un sistema de cultivo en el plano vertical. Sin embargo, en dichos sistemas, que utilizan cajas o contenedores de sustratos orgánicos, si bien se consigue una buena aceptación de la planta al medio, a cambio necesitan de un gran volumen de materia orgánica, la cual cuando se satura de agua transmite importantes cargas a la estructura auxiliar sobre la que se ancla, y por ende, al soporte receptor. Además, las cajas o contenedores que los albergan

limitan el desarrollo de las raíces de las plantas pues éstas no tienen suficiente intercambio de gases, evitando el correcto desarrollo radicular.

Como alternativa existen los denominados cultivos de tipo hidropónico que se forman a partir de, al menos, dos capas geotextiles entre las que se sitúan las plantas a raíz desnuda o en un sustrato inerte y donde la capa exterior sirve de soporte a la planta y la interior es la responsable de transportar el agua y los nutrientes a la raíz, resolviendo el problema de volumen y de peso. El mayor inconveniente de este sistema es que las plantas están sometidas a un estrés inicial en la fase de cultivo o pre-cultivado ya que se cambia el medio orgánico de desarrollo de la planta por uno inorgánico al que se incorporan los nutrientes.

Para solucionar este inconveniente aparecen los sistemas semi-hidropónicos compuestos por una configuración especial de las capas geotextiles formando bolsillos donde se alojan las plantas con su cepellón, reduciendo así el estrés del transplante. El único problema que pueden presentar estos sistemas es que la capa externa debe presentar una buena permeabilidad al aire para evitar problemas de asfixia radicular, y hacer una buena gestión de la programación del riego.

El sistema de riego comúnmente más empleado en jardines verticales es el riego localizado con emisores de bajo caudal (goteros) colocados en tuberías en la zona superior e intermedia del jardín. Gracias a la acción de la gravedad y debido a la capilaridad de la capa geotextil interior a base de fibras de algodón, se consigue una buena distribución del agua en toda la superficie del jardín (Pérez-Urrestarazu *et al.* 2014). En función del origen del agua de riego podemos hablar de dos sistemas de aplicación: los sistemas recirculados y a solución perdida. En los primeros el agua drenada por el jardín es recogida a un depósito y reutilizada en el riego, reponiendo solo el agua consumida por el mismo. Su mayor ventaja es el ahorro en el consumo de agua pero tiene el inconveniente del incremento de la concentración de sales disueltas en el agua que pueden producir graves problemas de salinización del medio de cultivo si no se realiza un buen manejo además de requerir de instalaciones más costosas y complejos sistemas de riego automatizado. Los sistemas a solución perdida tienen la ventaja de ser más simples y por tanto más económicos, pero conllevan un mayor consumo de agua debido al agua perdida por drenaje.

Es por ello que resulta de interés optimizar la programación de riego en jardines verticales con sistemas de riego a solución perdida, manteniendo un buen desarrollo de la vegetación y reduciendo al mínimo las pérdidas de agua por drenaje. Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo inicial la optimización del tiempo de riego en un jardín vertical exterior semi-hidropónico a solución perdida situado en Sevilla y en segundo lugar la evaluación del consumo de agua que presentan estos sistemas durante el período de máxima demanda evaporativa.

Material y Métodos

Para la realización de los ensayos se ha empleado un jardín vertical modular de tipo semi-hidropónico que utiliza el sustrato de la misma planta trasplantada que resuelve los inconvenientes antes señalados, pues mejora su adaptación y desarrollo en un reducido espacio de tiempo desde que son trasplantadas, tanto en interior como en exterior. Fue

instalado en una fachada exterior orientado hacia el Este en la comarca del Aljarafe de Sevilla (37°23'7" N, 6° 6'53" W).

El jardín vertical consta de 2 módulos de sistema Fytotextil® fabricados por la empresa Terapia Urbana S.L. (www.terapiaurbana.es). Tienen unas dimensiones de 1 m de anchura por 2 m de altura, lo que hace un total de 2 m²/módulo y un total de 4 m² de jardín vertical (2 x 2 m). Cada módulo cuenta con 72 bolsillos (6 x 12 bolsillos) para alojar la vegetación con una densidad máxima de 36 plantas/m². Están compuestos por dos capas de geotextil (figura 1) que cuentan con una gran capilaridad, favoreciendo la absorción y la correcta distribución de agua. Este material está compuesto por fibras de polipropileno y otras fibras naturales recicladas (algodón, lana, etc.) no tejidas y micro perforadas para mejorar su permeabilidad al agua.

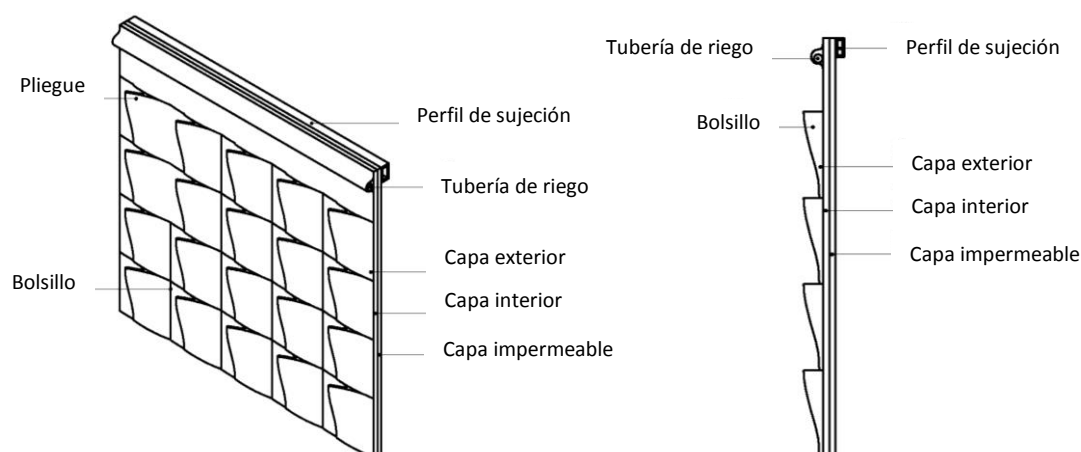


Figura 1. Esquema de elementos del módulo de jardín vertical ensayado (Fytotextil®)

La unión entre las capas (exterior e interior) se lleva a cabo mediante cosido con hilo sintético resistente formando cuadrículas de entre 15 cm y donde dicho cosido se realiza con una separación de entre 3 y 4 mm de paso de aguja para facilitar el paso de las raíces y no impedir el desarrollo radicular de las plantas. De cara a proteger la fachada soporte de la humedad del sistema modular, se incorpora una tercera capa o capa posterior compuesta por una lámina impermeabilizante de PVC flexible cosida y termo-sellada en el perímetro de la parte posterior del mismo. A través de un sistema de velcro permite la unión de varios módulos formando una única superficie continua, protegiendo los encuentros frente a la humedad mediante solapes de la lámina de PVC no representados. Por último, para poder fijar los módulos a la fachada, cada módulo lleva unido un perfil metálico de sujeción que va atornillado directamente a la fachada a una estructura metálica auxiliar.

Una vez fijados los módulos a la pared se coloca en la parte superior de cada módulo y entre la lámina interior y exterior del Fytotextil, la tubería horizontal emisora con goteros pinchados en el centro de cada cuadrícula (6 goteros por módulo). Ésta se une mediante una tubería vertical que la lleva hasta la entrada de la red de suministro de agua. El control de riego se realizó con una válvula-programador.

Tras la comprobación del funcionamiento del riego y mojado de los módulos se realizó la plantación con una densidad de 36 plantas/m² (Figura 2). La selección de especies se realizó teniendo en cuenta las condiciones microclimáticas y la orientación y exposición de los módulos. Por ello, en la composición vegetal de los módulos se eligieron especies

utilizadas habitualmente en jardinería mediterránea, muchas de ellas utilizadas también en jardinería vertical. Las especies se dispusieron en los módulos teniendo en cuenta el gradiente de humedad, por lo que las especies de menos requerimiento hídricos se situaron en la parte superior. Entre las especies inicialmente seleccionadas se pueden destacar: *Asparagus densiflorus*, *Asparagus sprengeri*, *Cuphea hyssopifolia*, *Dianthus barbatus*, *Lavandula angustifolia*, *Liriope muscari*, *Russelia equisetiformis*, *Euphorbia mili*, *Ficus pumila*.



Figura 2. Vista del estado vegetativo de los dos módulos del jardín vertical

Para recoger el agua drenada por cada módulo de jardín vertical se instaló en su parte inferior un canalón semicircular de PVC con una pendiente suficiente para verter el agua en un pluviómetro de pulsos por cazoleta de 6.25 cm³/pulso con 1 relé reed conectado a un contador digital de pulsos (Rain-O-Matic). La entrada de agua al sistema de riego es medida mediante un contador de chorro múltiple para agua fría y esfera seca modelo MTK (ZENNER International GmbH & Co. KG) de 3/4" con emisor de pulsos (1 litro/pulso).

Para la medida del contenido de humedad del suelo se instalaron 4 sensores de humedad del suelo de tipo capacitivo FDR modelo ECH2O 10HS (Decagon Devices, Pullman, WA, USA) situados en la fila superior e inferior de cada módulo. Por último, se registraron la temperatura y humedad relativa del aire mediante una sonda Temp./HR modelo S-THB-M002 de HOBO (Onset Corporation, Pocasset, Massachusetts, USA) con una resolución de 0,25°C y del 1% respectivamente a 25°C, y una sonda de radiación solar HOBO S-LIB-M003 (Onset Corporation, Pocasset, Massachusetts, USA) con un rango de medida de 0 a 1280 W/m² sobre un rango espectral de 300 a 1100 nm. Estas sondas se instalaron mediante un mástil a 30 cm del jardín vertical y en su zona central como se puede comprobar esquemáticamente en la figura 2. Todos los parámetros se registraron en un datalogger modelo H22-001-C de HOBO (Onset Corporation, Pocasset, Massachusetts, USA).

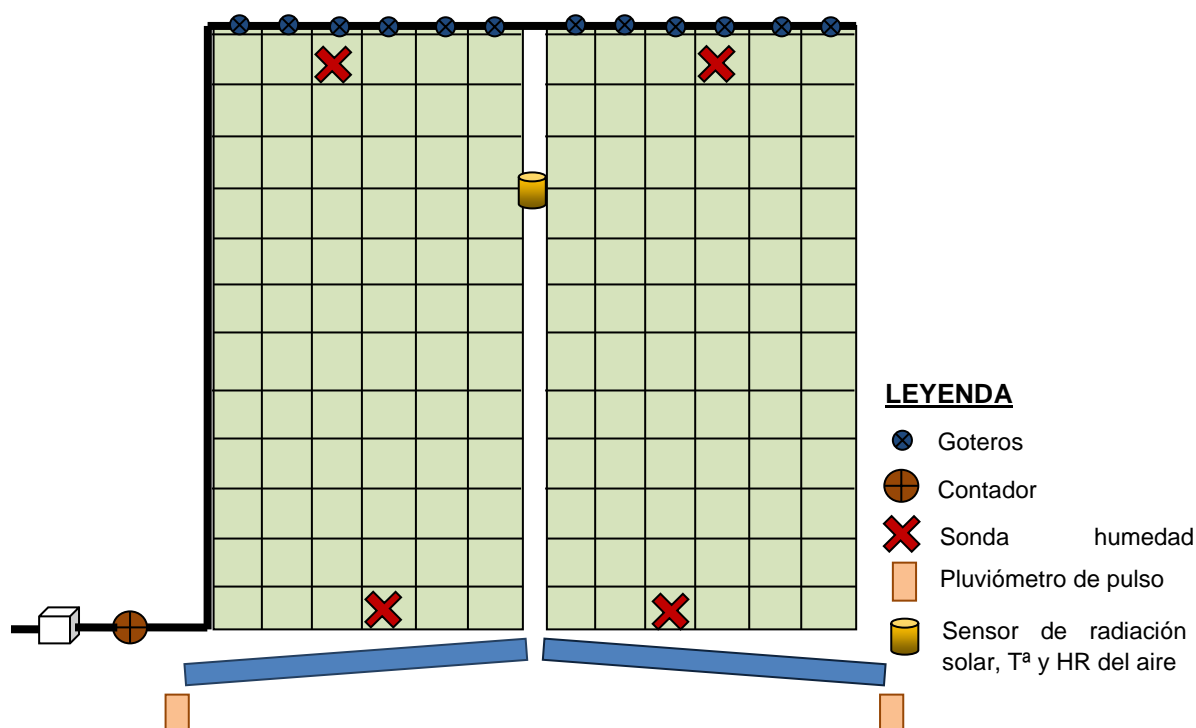


Figura 3. Esquema de disposición de los sensores y equipos de medida

La metodología llevada a cabo en los distintos ensayos fue la siguiente. En primer lugar se evaluó el comportamiento hidráulico del sistema de riego para cada tipo de emisor instalado mediante la determinación del coeficiente de uniformidad y el caudal medio descargado por los emisores. A continuación, se midieron los caudales de drenaje (l/h) y el drenaje acumulado (l) de los dos módulos de jardín vertical utilizando tres goteros de distinto caudal nominal (2, 4 y 8 l/h). Los goteros de 2 l/h son de la marca NAANDAN modelo JAIN J-SC-PC-Plus, y los de 4 y 8 l/h, son de la empresa TORO Euro Plus. Se realizaron tres repeticiones para cada tipo de emisor durante tres días consecutivos con condiciones climáticas y del estado inicial de humedad del sustrato similares. Los ensayos se realizaron durante los meses de julio y agosto de 2013. A las 9 h de la mañana se iniciaba el riego y se medía el volumen de agua drenado por cada módulo en la unidad de tiempo. Cuando el caudal de drenaje se hacía constante se cortaba el riego y se seguía registrando el volumen de agua drenado hasta que éste cesara obteniendo así el hidrograma de salida para cada tipo de gotero.

Posteriormente, se llevaron a cabo dos programaciones de riego distintas con los objetivos de estimar las necesidades hídricas del jardín en el período de máxima demanda y optimizar el manejo del riego en sistemas a solución perdida (no recirculados). Durante el periodo 25 de julio a 4 de agosto de 2013 se realizó una programación basada en la aplicación de 8 riegos al día (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00 y 22:00 horas) con un tiempo de riego de 5 minutos y utilizando goteros de 8 l/h. La segunda programación se realizó entre el 2 y el 18 de junio de 2014, consistiendo en la aplicación de 5 riegos/día (00:00, 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 horas) con una duración de 5 minutos/riego y la utilización de goteros de 8 l/h. En ambos periodos, se midieron los caudales de drenaje y se determinó el volumen de agua evapotranspirada mediante el balance hídrico del jardín vertical ($ET_{\text{jardín}}$).

Los valores de $ET_{\text{jardín}}$ se utilizaron para estimar el coeficiente global del jardín (K_j) a partir de la siguiente expresión:

$$K_j = ET_{\text{jardín}} / ET_0 \quad (1)$$

siendo ET_0 la evapotranspiración de referencia obtenida de una estación agroclimática perteneciente a la Junta de Andalucía situada en las proximidades de la zona de estudio.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en la caracterización del sistema de riego indican que la uniformidad media de los tres goteros empleados (2, 4 y 8 l/h) fue 94.16%, 96.20% y 93.43%, respectivamente. Asimismo, los caudales medios de los goteros fueron 1.29 l/h, 4.88 l/h y 8.60 l/h, respectivamente. La presión de entrada al circuito fue medida por un manómetro siendo esta de unos 2,2 bares.

En la figura 4 se pueden observar los caudales de drenaje de cada módulo de jardín vertical para los 3 goteros empleados. Como primera apreciación, el tiempo medio que transcurre desde el inicio del riego hasta el comienzo del drenaje es de 11.67 minutos, 19.44 minutos y 48 minutos para los goteros de 8, 4 y 2 l/h respectivamente. El corte del riego se produjo cuando el caudal drenado se estabilizó en valores máximos, indicando condiciones de saturación en el módulo de jardín. Esta situación de equilibrio ocurrió en los minutos 30, 42.1 y 77, contados desde el inicio del riego, para los goteros de 8, 4 y 2 l/h, respectivamente. Por tanto, este sería el tiempo óptimo de riego para sistemas de jardinería vertical con recirculación del agua de riego.

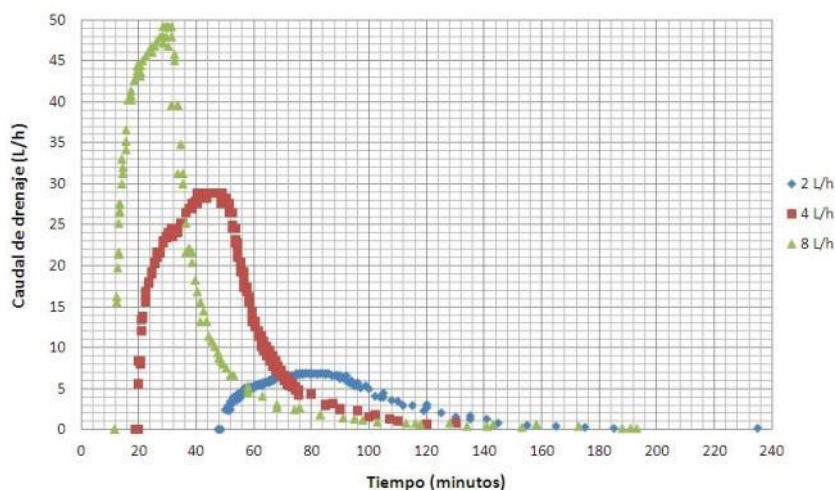


Figura 4. Caudal de drenaje de cada módulo de jardín vertical (2 m^2) para los goteros de 2, 4 y 8 l/h

La figura 5 muestra el drenaje acumulado en litros en cada módulo y para cada uno de los goteros empleados, observándose que con goteros de 8 l/h el volumen de agua drenado en cada módulo se aproximó a los 27 l, mientras que para los goteros de 4 l/h y 2 l/h los respectivos valores fueron de 19 l y 7 l aproximadamente. Estos volúmenes de drenaje son demasiado elevados para jardines verticales con sistemas de riego a solución perdida, por lo que el riego debe manejarse con criterios que permitan reducir estas pérdidas de agua.

Con este objetivo, en el siguiente ensayo se realizó una programación de riego por pulsos consistente en aplicar 8 pulsos al día (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00, 22:00) con una duración de 5 minutos/pulso. Para este ensayo se instalaron goteros de 8 l/h en los dos módulos de jardín vertical y se analizó la escurrientía y el contenido de humedad tanto en la parte superior como en la inferior. Se eligió este sensor por garantizar una mejor distribución del agua en los módulos verticales (Pérez-Urrestarazu *et al.* 2014) y por su mejor adaptación al riego por pulsos.

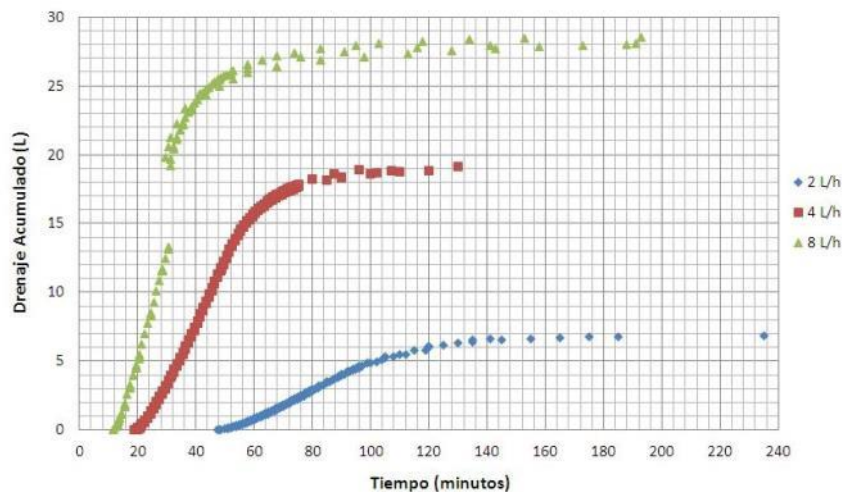


Figura 5. Volumen de agua drenada por cada módulo de jardín vertical (2 m^2) para los goteros de 2, 4 y 8 l/h

Los valores obtenidos por los sensores de humedad de sustrato se pueden observar en la figura 6. Estos datos, expresados en tensión de salida (mV), fueron registrados a intervalos de un minuto y aunque son medidas relativas resultan de utilidad para conocer los tiempos que invierte el frente húmedo para avanzar a lo largo del jardín vertical. Se puede observar que, para la programación de riego anteriormente mencionada, el tiempo medio existente entre los picos de humedad observados en los sensores superiores e inferiores, que distan 2 m entre sí, es de 18.31 minutos, siendo el tiempo mayor durante la aplicación del primer riego de la mañana (8:00 h), cuyo desfase es de 27 minutos. Esto se puede deber a que el sustrato esté más seco a primera hora de la mañana que durante el resto del día, ya que durante la noche no se regó y es conocido que la vegetación sigue extrayendo agua durante la noche.

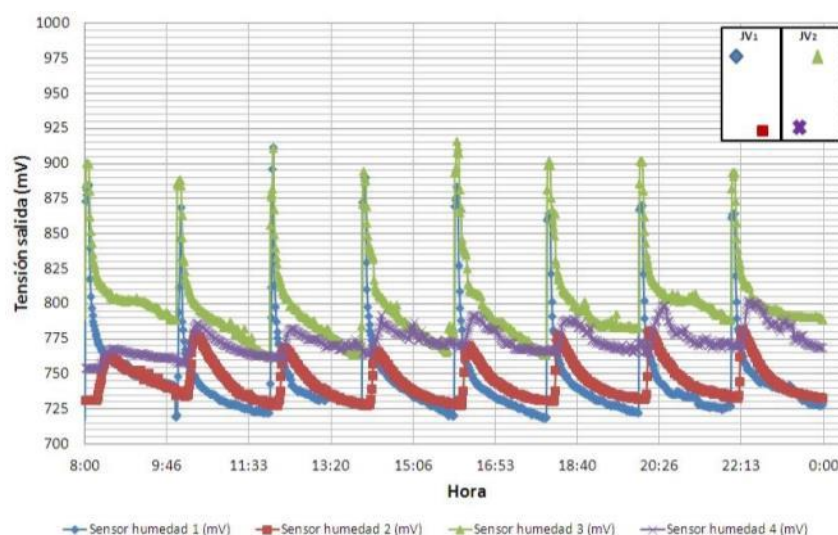


Figura 6. Salida de sensores de humedad de sustrato para los dos módulos de jardín vertical (25 de julio de 2013)

En la figura 7 se muestran los caudales de drenaje de los dos módulos de jardín vertical ensayados y el valor medio de éste. Se puede observar que el pico de caudal drenado es más pequeño durante el primer riego, con un valor de 2.18 l/h por módulo (2 m^2) y ocurre a los 36 minutos del inicio de riego (8:00 h). Esto puede ser debido a que el sustrato está más seco a primera hora de la mañana debido a la extracción de la vegetación durante la noche. Excepto el quinto riego, que presentó un caudal de drenaje superior, el resto de riegos (con la excepción hecha del primer riego) presentó un comportamiento similar. Con esta programación de riego se obtuvieron volúmenes de drenaje equivalentes al 72,96% del volumen de agua aplicada diariamente por riego.

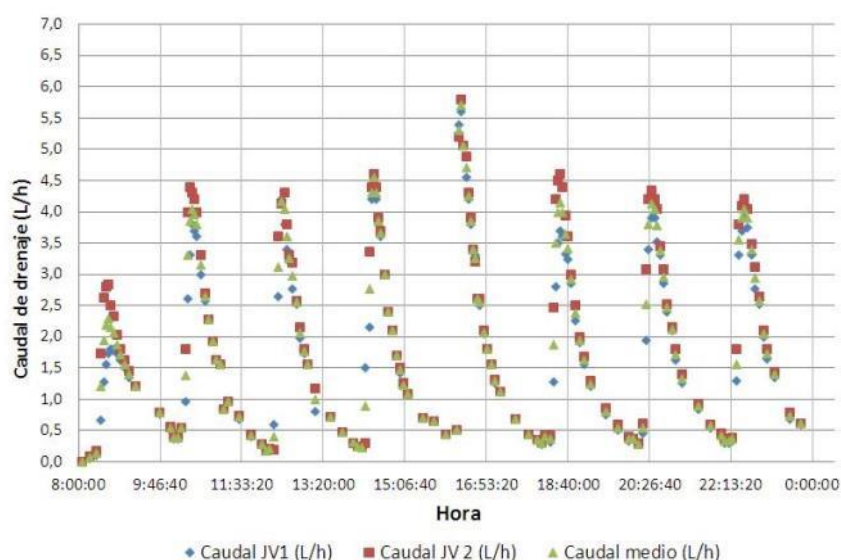


Figura 7. Caudales de drenaje obtenidos durante la programación de riego el 25 de julio de 2013

Por este motivo, durante el segundo periodo de estudio llevado a cabo en junio de 2014, se estableció una programación de riego consistente en aplicar 5 pulsos/día con idéntico tiempo de riego que en la anterior programación. Con esta segunda programación de riego se obtuvieron volúmenes de drenaje equivalentes al 54,77% del volumen de agua aplicada diariamente por el riego. Aunque con esta nueva programación se consiguió

reducir el porcentaje de agua perdida por drenaje, es necesario plantear nuevos ensayos con el fin de establecer criterios objetivos de programación que permitan disminuir las pérdidas por drenaje sin afectar a las necesidades óptimas de riego del jardín.

Por otro lado, cumpliendo con el segundo objetivo del trabajo se determinó el agua evapotranspirada por el jardín vertical ($ET_{\text{jardín}}$). Ésta se cuantificó a partir del balance hídrico del mismo, tomado como aporte el riego y como salidas las pérdidas de agua por drenaje y ET . Dichos valores fueron comparados con la evapotranspiración de referencia (ET_0) tomada de la estación meteorológica más cercana a la zona de ensayo (figura 8).

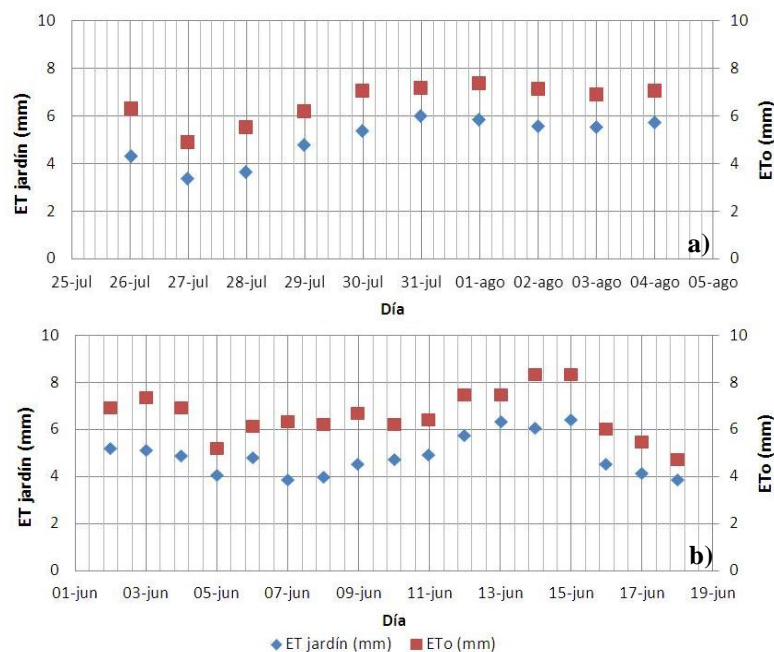


Figura 8. Comparación de la ET diaria del jardín vertical y la ET_0 diaria en dos periodos: a) 26 julio al 4 agosto de 2013; b) 2 al 18 junio de 2014

Se puede comprobar cómo la $ET_{\text{jardín}}$ y la ET_0 siguen tendencias muy similares en ambos periodos de estudio correspondientes a años diferentes. En la figura 9 se muestra la correlación existente entre ambas variables, con un coeficiente de determinación próximo al 80%. De acuerdo con la ecuación 1 (ver Material y Métodos), la pendiente de la recta de regresión entre ambas variables se corresponde con el coeficiente global del jardín (K_j), cuyo valor medio para ambos periodos de estudio ha sido de 0.75.

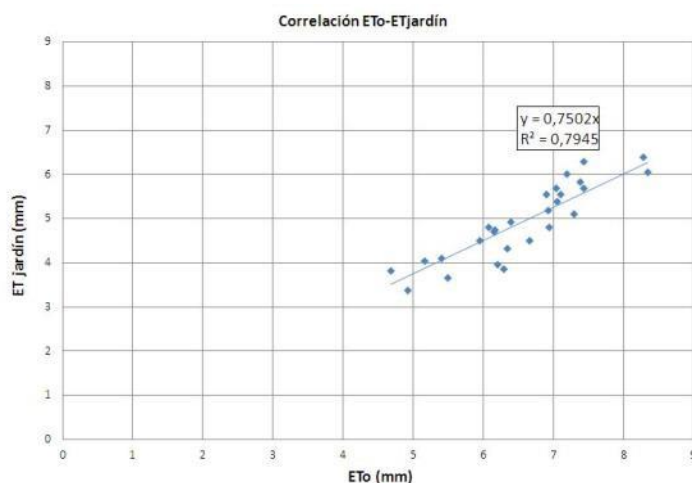


Figura 9. Correlación lineal entre la $ET_{jardín}$ (mm/d) y la ET_0 (mm/d) de los dos periodos de medida.

Conclusiones

En el presente trabajo se han obtenido los tiempos máximos de riego para distintos caudales de emisor en módulos de jardín vertical de 2 m de altura por 1 m de ancho compuestos por láminas textiles. Estos tiempos máximos de riego resultan de interés para maximizar la uniformidad de distribución del agua en jardines verticales con sistemas de recirculación del agua. En los sistemas a solución perdida (sin recirculación) se requiere una aplicación del riego por pulsos que permita satisfacer las necesidades hídricas del jardín, garantizar niveles aceptables de uniformidad de distribución del agua y minimizar las pérdidas de agua por drenaje.

En este sentido, la utilización de emisores de 8l/h y una programación del riego basada en la aplicación de 8 pulsos/día (5 min/pulso) repartidos durante las horas de sol resultó en unas pérdidas de agua por drenaje del 72.96% del total de agua aplicada. En un segundo periodo de ensayo, estas pérdidas se redujeron a un 54.77 % cuando se dieron 5 pulsos/día (5 min/pulso), indicando que el margen de mejora es aun amplio y que se requieren nuevos estudios que permitan establecer criterios de programación del riego más objetivos en estos sistemas de jardinería vertical.

La evapotranspiración del jardín mostró un alto grado de correlación con la evapotranspiración de referencia, lo que permitió obtener un coeficiente global de jardín (K_j) para el período de máxima demanda hídrica de 0.75. Es interesante resaltar que este valor se mantuvo constante durante dos períodos de estudio correspondientes a años diferentes.

Bibliografía

- Blanc, P., 2008. The vertical garden: from nature to the City. W. W. Norton & Co.
- Currie, B.A., Bass, B., 2005. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. Proc. of 3rd North American Green Roof Conference Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington, 4-6 May, 495-511.
- Darlington, A., Chan, M., Malloch, D., Pilger, C., Dixon, M.A., 2000. The biofiltration of indoor air quality: Implications for air indoor air. Indoor Air. 10(1), 39–46.
- Dunnett, N.P., Kingsbury, N., 2004. Planting Green Roofs and Living Walls. Timber Press. Portland.

- Fernández-Cañero, R., Pérez-Urrestarazu, L., Franco, A., 2012. Assessment of the cooling potential of an indoor living wall using different substrates in a warm climate. *Indoor and Built Environ.* 21(5), 642-650.
- Franco-Salas A., Fernández-Cañero R., Pérez-Urrestarazu L. and Valera D.L., 2012. Wind tunnel analysis of artificial substrates used in active living walls for indoor environment conditioning in Mediterranean buildings. *Building and Environment* 51, 370-378.
- Hunter A.M., Williams N.S.G., Rayner J.P., Aye L., Hes D., Livesley S.J., 2014. Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review," *Ecological Engineering* 63, 102– 113.
- Ip K., Lam M., Miller A., 2010. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy," *Building and Environment* 45(1), 81-88.
- Kontoleon, K.J., Eumorfopoulou, E.A., 2010. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment* 45, 1287–1303.
- Meier, K., 2010. Strategic landscaping and air-conditioning savings: A literature review. *Energy and Buildings* 15-16, 479-486.
- Ottel , M., Van Bohemen, H.H., Fraaij, A.L., 2010. Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering* 36(2), 154-162.
- Pérez-Urrestarazu, L., Egea, G., Franco-Salas, A., Fernández-Cañero, R. 2014. Irrigation Systems Evaluation for Living Walls. 140 (4), 1-11.
- Perini, K., Rosasco, P., 2013. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70, 110-121.
- Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R., 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46, 2287-2294.
- Tuomainen, M., Smolander, J., Kurnitski, J., Palonen, J., Seppanen, O., 2002. Modelling the cost effects of the indoor environment. In: *Proceedings of Indoor Air, Monterey, California*, pp.814-819.
- Ushada, M., Murase, H., 2009. Design of customisable greening material using swarm modelling. *Biosystems Engineering* 104(2), 169-183.

R07 - Optimización del diseño de subunidades irregulares de riego a presión

del Castillo, A., Tarjuelo, J.M., Moreno, M.A.

Centro Regional de Estudios del Agua (CREA) UCLM, Campus universitario s/n 02071 Albacete. Jose.tarjuelo@uclm.es

Resumen

Se ha desarrollado en MATLAB® el modelo de ayuda a la toma de decisiones PRESUD-IR (Pressurized Irregular Subunit Design) que optimiza el diseño de subunidades de riego a presión con cualquier forma y topografía de la parcela, y permite determinar la solución de menor coste total de aplicación de agua por unidad de superficie regada (C_T). Además, se analiza el efecto del tamaño, la forma y la pendiente de la subunidad en el C_T y en la EU, en riego por goteo en cultivos de almendro y pimiento para las condiciones de Castilla-La Mancha con el fin de abarcar un amplio abanico de posibilidades. La solución de menor C_T suele estar muy próxima a la de mayor EU, con variaciones de caudal (Δq) que pueden estar lejos de los criterios clásicos de hacer el diseño hidráulico de la subunidad para un $\Delta q \approx 10\%$ del caudal medio (q_a). El tamaño y la forma de la subunidad tienen una influencia mucho mayor que la pendiente del terreno en el C_T y en la EU de la subunidad. La subunidad con forma triangular es la que conduce al mayor C_T y menor EU dentro de las estudiadas, incrementándose ambos efectos al aumentar el tamaño de la subunidad. Aunque se ha tenido en cuenta en el C_T el mayor consumo de agua al disminuir la uniformidad de riego, el usuario debe decidir la solución más adecuada según los objetivos perseguidos con el riego del cultivo y la sensibilidad de la producción a la uniformidad de riego, ya que con pequeñas diferencias de C_T puede haber importantes mejoras en la EU en ciertas subunidades irregulares como las de forma triangular estudiadas. La capacidad de búsqueda de soluciones alternativas es una de las mayores potencialidades de PRESUD-IR, que lo convierten en una herramienta muy útil para la optimización del diseño y manejo de subunidades de riego a presión.

Palabras clave: Coste mínimo; Uniformidad de Emisión; riego por goteo

Design optimization of irregular pressurized irrigation subunits

Abstract

A DSS tool named PRESUD-IR (Pressurized Irregular Subunit Design) to take a holistic approach in optimizing the design of pressurized irrigation subunits for any shape and ground topography has been developed to obtain the minimum total water application cost (C_T) (investment and operation) per unit irrigated area. Furthermore, the effect of the subunit size, shape and slope on the C_T and emission uniformity (EU) has been analyzed for drip irrigation system (for almond and pepper crops) for the conditions of Castilla-La Mancha in order to cover a wide range of possibilities. The solution of lower CT is usually very close to the largest EU, with flow rate variation (Δq) that may be far from the classical criteria used in hydraulic design of irrigation subunit considering a $\Delta q \approx 10\%$ of average flow rate of emitter (q_a). The size and shape of the plot have more influence than the slope in the CT and EU. The subunit with triangular shaped leading to greater CT and lesser EU within studied cases, and both effects increase with the subunit size. Although it has been considered the increased consumption of water when reducing irrigation uniformity into the C_T , the user must decide the most appropriate solution according to the objectives pursued with irrigation depending on crop production sensitivity to the irrigation uniformity when a small increasing in C_T imply significant improvements in the EU in certain irregular parcels as the triangular studied. The ability to search for alternative solutions is an very interesting potential of PRESUD-IR. This makes it a useful tool for optimizing the design and management of pressure irrigation subunits

Keywords: Minimum cost; Emission Uniformity; Drip irrigation

Introducción

El funcionamiento óptimo de riego bajo un punto de vista sostenible sólo puede lograrse considerando simultáneamente criterios ambientales y económicos. Es necesario, por tanto desarrollar herramientas y modelos que puedan contribuir directamente a mejorar el uso del agua y la energía en el riego, realizando aproximaciones holísticas para el diseño y gestión de las infraestructuras de riego.

Kang *et al.* (1999) desarrollaron un método para el diseño de laterales de riego localizado con un coste mínimo en base a los métodos de elementos finitos y analizaron el efecto de los diámetros y longitudes de los laterales sobre la uniformidad de aplicación del agua, tanto en parcelas de pendiente uniforme como no uniforme. Hassanli y Dandy (2000) aplican algoritmos genéticos para desarrollar el diseño de unidades de riego por goteo rectangulares. Zayani *et al.* (2001) desarrollaron un método para diseñar tuberías con múltiples salida de caudal constante utilizando el método analítico del coeficiente de pérdida de energía. Juana *et al.* (2006) desarrollaron expresiones analíticas relativa a índices de distribución de agua para diseñar las variables que definen unidades de riego por goteo trapezoidales. Carrión *et al.* (2013 y 2014) desarrollaron la herramienta de ayuda a la toma de decisiones llamado PRESUD (Pressurized Subunit Design) para optimizar el diseño y dimensionamiento hidráulico de subunidades de forma rectangular de riego por goteo y aspersión fija con mínimo coste total (C_T) por unidad de superficie (funcionamiento + inversión). El uso de estas herramientas permite además determinar fácilmente la uniformidad de emisión del sistema (EU), que está directamente relacionada con el rendimiento de los cultivos, así como las variaciones de caudal y presión en la subunidad que conduce a la solución de menor C_T .

Ninguna referencia has sido encontrada para optimizar el diseño y manejo de subunidades irregulares de cualquier forma y topografía.

El objetivo de este trabajo es desarrollar la herramienta PRESUD-IR (Pressurized Irregular Subunit Design) para el diseño y dimensionamiento óptimo de una subunidad irregular de riego a presión que hace mínimo el coste total de aplicación de agua (C_T) (inversión + operación) por unidad de superficie, tratando de maximizar la uniformidad de emisión (EU). Además, se analiza el efecto del tamaño, la forma y la pendiente de la subunidad en el C_T y en la EU en riego por goteo en cultivos de almendro y pimiento para las condiciones de Castilla-La Mancha, con el fin de abarcar un amplio abanico de posibilidades y poner de manifiesto las potencialidades de PRESUD-IR.

Material y Métodos

Descripción de los casos estudiados

En todos los casos se ha utilizado una parcela con forma de triángulo rectángulo, siendo de 3 ha para riego por goteo (Fig. 1), que se ha dividido en 1, 2 y 3 subunidades de riego por parcela, resultando subunidades de igual superficie pero con distinta forma. Para analizar el efecto de la pendiente en el ramal y terciaria se han estudiado casos con pendiente 0, 1,5 y 3 %, considerando la misma pendiente en el ramal y la terciaria a la vez.

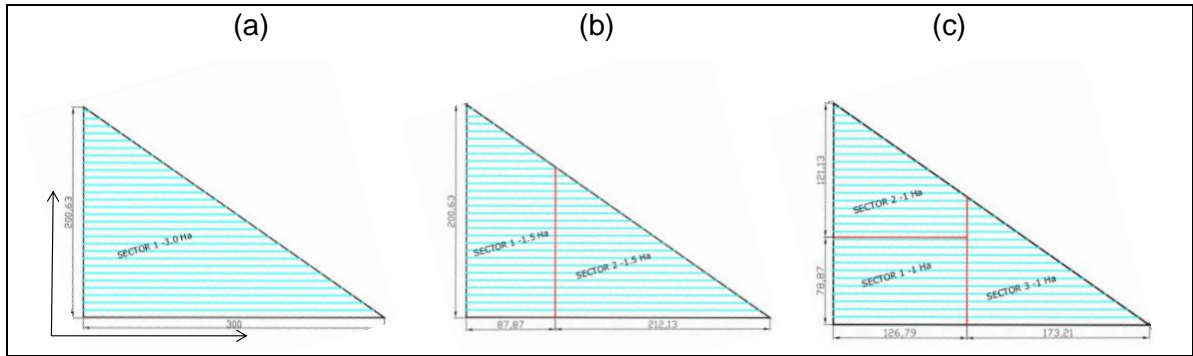


Figura 1. Esquema de las parcelas de 3 ha estudiadas en almendro y pimienta para los casos de: a) una subunidad de 3 ha; b) dos subunidades de 1,5 ha; y c) tres subunidades de 1 ha

Para almendro se ha considerado un marco de plantación de 7m x 5m, con un ramal de goteros por fila de plantas, utilizando goteros de 4 Lh⁻¹ no autocompensantes (con x= 0,5), trabajando a una presión media de 0,1 MPa, con espaciamiento entre goteros de 1 m, y un coeficiente de variación de fabricación (CV_{qm} =5%). Las necesidades netas del almendro se han considerado de 1350 m³ ha⁻¹ para la zona de estudio.

Para pimienta se ha considerado un marco de plantación de 1m x 0,7m, con un ramal de goteros por fila de plantas, emisores de 2 Lh⁻¹ no autocompensantes (con x= 0,5), trabajando a una presión media de 0,1 MPa, espaciamiento entre goteros de 0,75 m, y un coeficiente de variación de fabricación (CV_{qm} =5%). Las necesidades netas se han considerado de 5900 m³ ha⁻¹ para la zona de estudio

Modelo de optimización del diseño de una subunidad de riego

La ecuación de descarga de un emisor se expresa como (Karmeli y Keller, 1975):

$$q_h = K h_e^x \quad (1)$$

siendo: q_h = el caudal del emisión; K = el coeficiente de emisión; x = el exponente de descarga; h_e = la presión a la entrada del emisor

Para los cálculos hidráulicos se ha utilizado el motor de cálculo de EPANET (Rossman, 2000). Las pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías de polietileno PE, PVC y acero (h_f) se calcularon utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach o de Hazen-William (Ecuación 2, unidades del SI)

$$h_f = 0.0826 f D^{-5} Q_0^2 L \quad (2)$$

$$h_f = 10.62 C^{-1.85} D^{-4.87} Q_0^{1.85} L \quad (3)$$

siendo: f = factor de fricción, C = coeficiente de fricción ($C = 155, 145$ y 115 para tuberías de PE, PVC y acero respectivamente, en los casos de estudio), D = diámetro interior del tubo (L), Q_0 = caudal en la tubería (L3T-1), L = longitud de la tubería (L)

Las pérdidas de carga singulares (h_s) se han considerado como el 15% de h_f en todos los casos.

Para la optimización del diseño se ha buscado el punto de alimentación de la subunidad que conduce al menor coste anual total (C_T) por unidad de superficie regada, incluyendo los costes de inversión y operación del sistema de riego. Los datos necesarios para el

modelo son: un plano de la subunidad irregular incluyendo la disposición de los laterales y los emisores, diámetros de los ramales y tuberías terciarias, ecuación del emisor, así como la topografía y la pendiente de la parcela a regar o el modelo de digital del terreno (MDT) para conocer la cota de cada uno de los emisores.

La metodología de cálculo en el proceso de optimización es la siguiente:

Etapla 1. Considerar como posible punto de alimentación de la subunidad la localización de cualquier emisor, y calcular el C_T

Paso 1.1. Para un valor de presión en el origen de la subunidad (H_0), se determinan los valores de h_{ei} y q_{ei} para cada emisor de la subunidad mediante iteraciones sucesivas.

Para los diámetros previamente seleccionados de la tubería terciaria y los laterales, el procedimiento comienza asumiendo que todos los emisores descargan el caudal medio q_a . La presión en cada en cada punto de inserción de un emisor (h_{ei}) se calcula mediante la ecuación de la energía

$$h_{ei} = h_{e\ i-1} - h_{f(i-1)-i} \pm S_0 s_e \quad (4)$$

siendo: $h_{f(i-1)-i}$ = pérdidas de carga entre dos emisores consecutivos $i-1$ e i (L) (Ecuación 2 o 3), considerando $q_{ei} = q_a$ en la primera iteración; S_0 = pendiente de la tubería ($L\ L^{-1}$) y s_e = espaciamiento entre emisores (L).

Una vez que se ha estimado la presión de cada aspersor (h_{ei}), se calcula el caudal del emisor (q_{ei}) con la ecuación (1).

En la segunda iteración se repiten los cálculos, pero considerando los nuevos valores de h_{ei} y q_{ei} . Las iteraciones terminan cuando $h_{ei\ iter\ n-1} - h_{ei\ iter\ n} < 0.0001\ m$

Paso 1.2. Obtener los valores de K_s un X_s de la ecuación de descarga equivalente de la subunidad y determinar H_0 definitivo.

Repetiendo el caso anterior para cuatro valores de H_0 se calcula la Ecuación (5) por ajuste con mínimos cuadrados de los valores Q_s y H_0 obtenidos

$$Q_s = K_s H_0^{X_s} \quad (5)$$

siendo: Q_s = caudal a la entrada de la subunidad; K_s = coeficiente de emisión de la subunidad; X_s = exponente de emisiones de la subunidad

Despejar el valor de H_0 de la Ecuación (4) para $Q_s = q_a N$, siendo N el número de emisores de la subunidad de riego.

Paso 1.3. Calcular el C_T de la subunidad para las condiciones de trabajo consideradas.

Etapla 2. Identificar las zonas de alimentación de la subunidad con menor C_T y mayor EU

Paso 2.1. Repetir la etapa 1 para un conjunto de emisores seleccionados de cada lateral.

Se probara la posición de todos los emisores de la subunidad como posible punto de alimentación, pero saltando por ejemplo 20, 15 ó 10 emisores según su separación en el lateral (s_e) sea 0,5m, 0,75m o $s_e > 0,75m$ respectivamente, para disminuir el tiempo de cálculo. En todos los casos se utilizará como valor de H_0 inicial el obtenido en el caso

anterior ya que los valores de H_0 para emisores próximos serán muy parecidos. Los saltos propuestos proceden de la experiencia con el uso del modelo. En caso de topografía del terreno muy irregular, los saltos deben ser para pequeños para identificar posible mínimos locales de C_T .

Paso 2.2. Identificar las zonas de alimentación de la subunidad con menor C_T y repetir el paso anterior para todos los emisores incluidos en un radio de búsqueda (R , en m) definido como:

$$R = s_e J_n 2^{-1} \quad (6)$$

donde: s_e = espaciado del emisor en el lateral; J_n = número de emisores a saltar.

En cualquier caso se considera $R > 2 s_l$, siendo s_l la separación entre laterales, en m.

Para hallar el punto de alimentación óptimo definitivo, la herramienta prueba además dos opciones adicionales dentro del radio de búsqueda R : a) punto de alimentación situado en el punto medio entre dos emisores, b) punto de alimentación situado entre dos laterales. También ofrece la opción de buscar el punto de alimentación que consigue la máxima UE, que no siempre coincide con el de mínimo C_T , aunque suelen estar próximos

Paso 2.3. Identificar el punto de alimentación con menor C_T a partir de la base de datos de los resultados

Etapla 3. Cálculo de los coeficientes que describen la idoneidad de la distribución de agua en la subunidad: EU= uniformidad de emisión (Ecuación 6), Δq = diferencia máxima de caudal en los emisores de la subunidad de riego, Δh = diferencia máxima de presión en la subunidad de riego, y C_T = coste total de la aplicación de agua en la subunidad (Ecuación 7), utilizando el método de cálculo que se indica a continuación.

Karmeli y Keller (1975) caracterizar el funcionamiento de subunidades de riego por goteo mediante el coeficiente de uniformidad de emisión (EU) definida como

$$EU = \left(1 - \frac{1,27 CV_{qmf}}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_m}{q_a} 100 \quad (7)$$

siendo: CV_{qmf} = coeficiente de variación de fabricación del emisor; q_m = caudal mínimo en la subunidad debido a la presión; q_a = media de todos los caudales de los emisores de la subunidad; e = número de emisores por planta.

Determinación del coste de aplicación de agua de riego.

El coste total (C_T) se calcula como

$$C_T = C_a + C_e + C_w + C_m \quad (8)$$

siendo: C_a = coste anual de la inversión; C_e = coste anual de energía; C_w = coste anual del agua; C_m = coste anual de mantenimiento . Todos los costos se consideran por unidad de área ($\text{€ ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

Costes de inversión

Los costes de inversión (C_i) considerados solo corresponden a las tuberías terciarias y ramales con los emisores, considerado los precios medios de los equipos de diferentes fabricantes y distribuidores en España (Tabla 1). El Software PRESUD-IR permite al usuario cambiar los precios de los productos considerados.

La anualidad de la inversión ($A = CRF C_i$, en € año^{-1}) se calculó considerando una vida útil (N) de 24 años para las tuberías, y un tipo de interés (i) de 0,06. El factor de recuperación de capital (CRF) y la anualidad de la inversión por unidad de superficie de regadío (C_a , en $\text{€ ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) se calcularon usando las ecuaciones (9) y (10):

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (9)$$

$$C_a = \frac{A}{S} = \frac{CRF \cdot C_i}{S} \quad (10)$$

siendo: S = área de la subunidad regada (en ha).

Tabla 1. Precios medios de las tuberías de fabricantes y distribuidores en España

Material	Diámetro de ramales (interior) (mm)	Precio de los ramales con goteros (€ m ⁻¹)				
		Exponente de emisión (x)	Espaciamiento goteros (s _e) (m)			
PE 0.25 MPa	16 (13.6)	0.1	0.5	0.75	1.0	1.25
			0.20	0.18	0.16	0.14
			0.175	0.16	0.145	0.13
	17.5 (15.6)	0.9	0.125	0.12	0.115	0.11
		0.1	0.25	.022	0.20	0.19
20 (17.4)	0.1	0.29	0.26	0.25	0.24	
Concepto		Material	Coste (€ unidad ⁻¹)			R ²
Tuberías terciarias en sistemas de riego por goteo		PE 0.4 MPa	y = 0.0003D ^{2.0315}			0.999

Costes de energía

El coste anual de energía por unidad de superficie de regada (C_e , en $\text{€ ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) se calculó mediante la Ecuación (11)

$$C_e = \frac{N_p \cdot O_t \cdot E_{nc}}{S} \quad (11)$$

siendo: N_p = la potencia requerida (en kW, (Ecuación (12)) para la aplicación de agua en la subunidad; O_t = tiempo de funcionamiento anual del sistema de riego (en h año^{-1} , (Ecuación (13)); E_{nc} el precio medio de la energía (en € kWh^{-1}) (0.1, € kWh^{-1} en este estudio)

$$N_p = \frac{9.81 \cdot Q_s \cdot H_0}{E_p} \quad (12)$$

siendo: Q_s = caudal de entrada a la subunidad ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); H_0 = presión necesaria a la entrada de la subunidad de riego (m); E_p = rendimiento del sistema de bombeo (65 % para los casos estudiados de acuerdo con los datos de auditorías energéticas realizadas en Castilla-La Mancha (Moreno *et al.* 2010).

$$O_t = \frac{R_n S}{3600 E_a Q_{0s}} \quad (13)$$

siendo: R_n = necesidades netas de riego de los cultivos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) (1350, 5900 y $6500 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para almendro, pimiento y maíz respectivamente en este estudio), E_a = eficiencia general de aplicación del sistema de riego (decimal).

Las necesidades brutas de riego (R_g) para la subunidad se pueden calcular con la Ecuación (14):

$$R_g = \frac{R_n \text{Tr} S}{EU} \quad (14)$$

siendo: EU = uniformidad de emisión del sistema de riego; Tr = relación de transmisión en periodo punta (Keller y Bliesner 1990) (Tr = 1 para la pimienta y almendro en este estudio).

Coste del agua

El precio del agua de riego (P_w) es el coste de transportar el agua desde la fuente hasta la entrada de la subunidad de riego (inversión y operación). Las diferencias en el precio del agua dependen principalmente de la disponibilidad de agua y la energía inicial del agua (superficial o subterránea). Se ha tomado $P_w = 0.1, \text{€ m}^{-3}$, que corresponde al valor medio del precio del agua en la zona con aguas subterráneas a 80 m de profundidad (Carrion *et al.* 2015).

El coste del agua de riego ($C_w, \text{€ ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) se determina mediante la Ecuación (15):

$$C_w = \frac{R_g P_w}{S} \quad (15)$$

Coste de mantenimiento

Un coste adicional promedio del 5% de los costes de inversión se consideró para el mantenimiento del sistema de riego (C_m), con el fin de que pueda alcanzar una vida útil (N) de 24 años.

Resultados

Resultados para riego por goteo

Los resultados de los parámetros fundamentales que definen el diseño óptimo de subunidades de riego con mínimo C_T para almendro y pimiento presentan un comportamiento muy parecido en cuanto a la influencia del tamaño, forma y pendiente de la subunidad en el C_T (Tablas 2 y 3), aunque la instalación de pimiento es unas cinco veces más cara que la de almendro al tener mayor densidad de ramales y emisores. En

todos los casos el C_T aumenta con el tamaño de la subunidad, sobre todo para las subunidades más grandes (3 ha), siendo este incremento mayor para la forma triangular.

Tabla 2. Parámetros fundamentales que definen la solución de C_T mínimo en subunidades de riego por goteo en almendro para parcelas sin pendiente, con $x=0,5$ y ramales de PE 16 (13,6 mm) 0,25 kPa.

Forma	Área (ha)	H ₀ (m)	UE (%)	CVq (%)	Ca	Ce	Cw	C _T	Δh (%)	Δq (%)
					(€ha ⁻¹ año ⁻¹)					
Rectángulo	1	10,8	95,7	5,04	25,4	6,4	141,0	172,8	11,4	5,6
Trapezio	1	11,3	94,2	5,10	26,7	6,8	143,3	176,9	19,2	9,5
Trapezio	1.5	11,4	94,6	5,11	28,9	6,8	142,7	178,4	17,0	8,4
Triángulo	1	11,6	92,8	5,21	25,9	7,1	145,4	178,4	25,2	12,4
Triángulo	1.5	12,2	90,6	5,47	27,6	7,6	149,1	184,2	34,7	17,1
Triángulo	3	15,0	82,2	7,37	28,7	10,3	164,2	203,2	77,4	37,8
Triángulo ⁽¹⁾	3	11.52	92.0	5,20	61.5	7.1	146.7	215.3	25.4	12.6
Triángulo ⁽²⁾	3	11.35	91.85	5,20	61.73	6.99	146.98	215.70	24.08	12.00

(1) Calculado con ramales de PE 20 (17,4 mm) 0,25 kPa para mínimo C_T ; (2) Calculado con ramales de PE 20 (17,4 mm) 0,25 kPa para mínima Δq

Tabla 3 Parámetros fundamentales que definen la solución de C_T mínimo en subunidades de riego por goteo en pimienta para parcelas sin pendiente, con $x=0,5$ y ramales de PE 16 (13,6 mm) 0,25 kPa.

Forma	Área (ha)	H ₀ (m)	UE (%)	CVq (%)	Ca	Ce	Cw	C _T	Δh (%)	Δq (%)
					(€ha ⁻¹ año ⁻¹)					
Rectángulo	1	10,7	92,2	5,03	181,0	28,8	639,7	849,5	9,7	4,8
Trapezio	1	10,8	91,8	5,03	193,5	29,0	642,3	864,8	11,1	5,5
Trapezio	1.5	11,0	91,7	5,08	199,7	29,8	643,7	873,2	14,0	6,9
Triángulo	1	11,0	91,1	5,07	190,8	29,8	647,8	868,4	14,6	7,2
Triángulo	1.5	12,2	89,1	5,28	187,6	33,8	662,4	883,8	30,7	14,9
Triángulo	3	13,3	84,5	5,94	198,1	39,0	698,3	935,4	51,0	24,9

La pendiente en el ramal y la terciaria tiene muy poca influencia en el C_T y en la UE para las pendientes estudiadas ($S_0 < 3\%$) (datos no mostrados), tanto para almendro como para pimienta, y para cualquier de los goteros estudiados. En la forma triangular el efecto de la pendiente sobre el C_T es más importante que en las formas rectangulares y trapeciales, con la peculiaridad de que el C_T disminuye y la EU aumenta al aumentar la pendiente (hasta un 1.5%, resultados no mostrados).

El menor C_T se obtiene siempre utilizando ramales de PE 16 (13,6 mm) 0,25 kPa, aunque para goteros con $x=0,5$ la diferencia de caudal en la subunidad pueden llegar a ser demasiado altas en subunidades de forma triangular de gran tamaño (3 ha) ($\Delta q = 38\%$ en almendro, llegando al 47% para pendientes del 3% (resultado no mostrado)), y la EU demasiado baja (EU 82% en parcelas sin pendiente) (Tabla 2). Para intentar resolver este problema se ha probado dos posibles soluciones. En almendro se ha probado colocar los ramales con PE 20 (17,4 mm) 0,25 kPa, con lo que se consigue reducir mucho la variación de caudal (pasando de 38,8 a 12,6 %) (Tabla 2) y aumentar la EU (pasando de 82 a 92%), con tan solo un incremento de C_T del 6%. Como segunda posibilidad se ha probado la opción de utilizar goteros autocompensantes (con $x=0,1$). Los resultados (Tabla 4) mejoran muy significativamente en todos los parámetros,

incluido el C_T , a pesar del mayor coste de este tipo de goteros (Tabla 1). La razón está en que se utiliza menor volumen de agua al mejorar la eficiencia de riego. Esto pone de manifiesto la gran potencialidad de herramientas como PRESUD-IR, al poder analizar de forma rápida soluciones alternativas, convirtiéndola en una ayuda muy importante en la toma de decisiones.

Tabla 4. Parámetros fundamentales que definen la solución de C_T mínimo en subunidades de riego por goteo en almendro para parcelas sin pendiente, con $x=0,1$ y ramales de PE 16 (13,6 mm) 0,25 kPa.

Forma	Área (ha)	H ₀ (m)	UE (%)	CVq (%)	Ca	Ce	Cw	C _T	Δh (%)	Δq (%)
					(€ha ⁻¹ año ⁻¹)					
Rectángulo	1	11,4	96,7	5,00	26,4	6,7	139,6	172,7	18,5	1,8
Trapezio	1	11,6	96,5	5,00	28,6	6,8	139,9	175,3	22,8	2,2
Trapezio	1.5	11,4	96,6	5,00	31,1	6,7	139,7	177,5	17,4	1,7
Triángulo	1	11,7	96,2	5,00	28,1	6,9	140,3	175,3	25,9	2,
Triángulo	1.5	13,5	95,1	5,00	27,6	8,0	141,9	177,5	53,6	5,12
Triángulo	3	17,9	92,6	5,01	28,3	10,9	145,8	185,0	113,1	10,6

Los resultados ponen de manifiesto que el exponente de descarga (x entre 0,5 y 0,1) no tiene un efecto muy importante en el C_T para subunidades rectangulares y trapeziales, pero es muy importante en las de forma muy irregular como las triangulares, disminuyendo de forma significativa el C_T al utilizar goteros autocompensante cuando aumentar el tamaño de la subunidad. De todas formas, en todos los casos estudiados, la mejor opción es utilizar goteros autocompesantes (con $x=0,1$) al disminuir el C_T , Δh y Δq y aumentar EU, con una diferencia muy significativa en las subunidades irregulares de gran tamaño como es la triangular de 3 ha. La solución de aumentar el diámetro de lateral a 20 mm solo ha resultado interesante para la subunidad rectangular de 3 ha, con lo que claramente es mejor solución utilizar goteros autocompensantes.

Las variaciones de caudal (Δq) que conducen al menor C_T (Tablas 3 y 4) están en algunos casos, y sobre todo con goteros autocompensantes, lejos de los criterios clásicos utilizados en el diseño hidráulico de subunidades de riego a presión, que recomiendan un $\Delta q \approx 10\%$ del caudal medio (q_a) (Keller and Bliesner, 1990) como aproximación a la solución técnico-económica más adecuada.

Conclusiones

Se ha desarrollado el modelo PRESUD-IR como una herramienta clave para la ayuda en la toma de decisiones en la optimización del diseño de subunidades de riego a presión (aspersión y goteo) para cualquier forma y topografía de la parcela, determinando la solución de menor coste total de aplicación de agua por unidad de superficie regada (C_T).

El C_T aumenta con el tamaño y la irregularidad en la forma de la subunidad de riego, mientras que la pendiente del terreno tiene poca influencia en el C_T para los casos estudiados.

La solución de menor C_T suele estar muy próxima a la de mayor EU, con variaciones de caudal (Δq) que pueden estar lejos de los criterios clásicos para hacer el diseño hidráulico de la subunidad que recomiendan un $\Delta q \approx 10\%$ del caudal medio (q_a) como mejor solución desde el punto de vista técnico-económico.

En riego por goteo, la solución de mínimo C_T es siempre utilizar el ramal PE 16 (13,6 mm) 0,25 kPa.

Cuanto más irregular es la forma de la subunidad y mayor su tamaño, la utilización de goteros autocompensates (con exponente de descarga $x= 0,1$ en el caso estudiado) es la solución que conduce al menor C_T , siendo la diferencia de C_T muy pequeña respecto a utilizar goteros no autocompensantes (con exponente de descarga $x= 0,5$) en subunidades regulares y de tamaño mediano o pequeño (menos de 1,5 ha en los casos estudiados). La razón está en que se necesita menor volumen de agua al mejorar la eficiencia de riego, con lo que el coste y la disponibilidad del agua puede condicionar la solución de menor C_T .

La capacidad de búsqueda de soluciones alternativas es una de las fortalezas más importantes de modelo PRESUD-IR, que lo convierten en una herramienta muy útil para la ayuda en la toma de decisiones en el diseño y manejo de subunidades de riego a presión.

Referencias

- Carrión F, Tarjuelo JM, Hernández D, Moreno MA, 2013. Design of microirrigation subunit of minimum cost with proper operation. Irrig. Sci. DOI 10.1007/s00271-013-0399-8
- Hassanli, A. M., Dandy, G. C. 2000. "Application of genetic algorithms for optimisation of drip irrigation systems." Iranian J. Sci. Technol., 24(1), Trans. B, 63-76.
- Juana L., Leonor Rodríguez-Sinobas L., Raúl Sánchez R., Alberto Losada A. 2005. Analytical Expressions for Hydraulic Calculation of Trapezoidal Drip Irrigation Units. J. Irrig. Drain. Eng., 131:5, 420-423.
- Kang Y., Yuan B.Z., Nishiyama S. 1999. Design of microirrigation laterals at minimum cost. Irrig Sci 18: 125–133
- Karmeli D, Keller J (1975) Trickle irrigation design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp. Glendora, 133p.
- Keller, J., Bliesner, R. D., 1990. Trickle irrigation. Sprinkler and trickle irrigation, Van Nostrand Reinhold, New York. 427–582.
- Moreno, M.A., Planells, P., Córcoles, J.I., Tarjuelo, J.M., Carrión, P.A., 2009. Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations. Biosyst. Eng. 102 (1), 95-105.
- Moreno MA, Ortega JF, Córcoles JI, Martínez A, Tarjuelo JM (2010) Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. Irrig. Sci. 28: 445-460
- Rossman, L. A. _2000_. EPANET 2, users' manual, Water supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Zayani K, Alouini A, Lebdi F, Lamaddalena N (2001) Design of drip line in irrigation systems using the energy drop ratio approach. Trans ASAE 44(5):1127–1133

R08 - Evaluación de la obstrucción de diferentes emisores bajo riego subterráneo

Nortes, P.A.¹, Intrigliolo, D.S.¹, Alarcón, J.J.¹, Maestre-Valero, J.F.¹

¹ CEBAS-CSIC. Campus Universitario de Espinardo CP 30100 PO Box 164. Murcia. panortes@cebas.csic.es

Resumen

El riego subterráneo (RS) es una de las tecnologías de riego más eficientes. Sin embargo, los emisores pueden obstruirse por la intrusión radicular (IR) y reducir considerablemente el caudal de agua suministrado por la instalación. Puesto que la IR en un emisor está muy relacionada con sus características hidráulicas y con su caudal, se construyó un banco ensayo experimental para evaluar hidráulicamente 31 tipos de emisores al objeto de seleccionar los más adecuados para su uso en RS. Se instalaron 31 contenedores, cada uno de ellos con 3 mangueras de polietileno (\varnothing 16 mm) con 6 emisores planos cada una (un tipo de emisor diferente en cada manguera). Los emisores se seleccionaron en base a sus características hidráulicas, (i) autocompensantes; PC, (ii) autocompensantes + antisucción; PC-AS, (iii) autocompensantes + antisucción + antidrenantes; CNL y (iv) turbulentos; T, y su caudal, i.e. 1, 1,6 y 2,3 L/h. En abril de 2014 se sembró grama Bermuda en un sustrato compuesto por 80% de turba y 20% de arena. El riego se realizó diariamente para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. El ensayo se llevó a cabo durante 308 días y puntualmente se medía el volumen de agua aplicada por cada manguera en 120 segundos utilizando un sensor de nivel colocado dentro de un tubo a presión (1 bar). Al final del ensayo, no se observaron diferencias en la reducción del caudal con respecto al principio en los emisores PC, PC-AS y CNL para los flujos de agua 1 y 1,6 L/h (reducción media de 20%). Sin embargo, los emisores T registraron una reducción de caudal del 70%. No se encontraron diferencias significativas en la reducción del caudal en los emisores de 2,3 L/h, lo que podría indicar que a mayor flujo hay una menor obturación del emisor por las raíces.

Palabras clave: Intrusión radicular, Grama Bermuda, Características hidráulicas

Clogging evaluation of different emitters under subsurface irrigation

Abstract

Subsurface drip irrigation (SDI) is one of the most efficient irrigation technologies. However, a major concern about SDI for long-term operation is the emitter clogging by root intrusion because water flow can be reduced. Root intrusion into an emitter is highly dependent on the dripper hydraulic characteristics and flow. Consequently, in this study, we evaluated the performance of 31 types of irrigation emitters against root intrusion to select the most suitable ones for subsurface drip irrigation. To perform the experiment, 31 containers (60 cm wide, 100 cm long and 75 cm deep), were placed inside a greenhouse, each one containing 3 subsurface polyethylene pipes (\varnothing 16 mm) buried at 20 cm, with 6 integrated emitters each (three pipes had different type of emitters). Emitters were selected according to their hydraulic performance, i.e. (i) pressure compensating; PC, (ii) pressure compensating + anti-suction; PC-AS, (iii) pressure compensating + anti suction + no leakage; CNL, and (iv) turbulent emitters; T, and flow, i.e. 1, 1.6 and 2.3 L/h. Bermuda grass was sown on April 2014 in a substrate compounded by 80% peat and 20% sand. Irrigation was performed daily to satisfy crop water requirements. Trials were performed monthly during 308 days by registering the amount of water applied by each pipe of 6 emitters in 120 seconds by means of a magnetostrictive liquid-level sensor placed inside a pressurized tube (1 bar). After 308 days, at a flow of 1 and 1.6 L/h, differences with respect to the initial status in the emitter clogging in PC, PC-AS and CNL emitters were not observed (mean water flow reduction lower than 20%). On the contrary, T emitters reached a mean water flow reduction close to 70%. At a flow of 2.3 L/h, significant differences between emitters were not observed which could indicate that the higher emitter flow, the lower root emitter clogging

Keywords: Root intrusion, Bermuda grass, Hydraulic characteristics

Introducción

El riego localizado subterráneo (RS), que implica una aplicación de agua directamente a la raíz de la planta, es una de las tecnologías de riego más eficientes, pues permite aplicar el agua y los fertilizantes en la zona radicular de una forma muy precisa (Yingduo *et al.*, 2010) y reducir considerablemente las pérdidas de agua por evaporación (Camp, 2007). Además, se ha demostrado que su correcta aplicación puede incrementar el rendimiento de los cultivos (Camp, 1998; Alarcón *et al.*, 2005) y la eficiencia y aprovechamiento de agua y nutrientes (Sánchez, 1996), que permiten reducir los aportes hídricos y de fertilizantes.

Sin embargo, a pesar de las ventajas de su aplicación, este sistema de riego presenta también algunas limitaciones. Uno de los mayores retos a los que se enfrenta el riego subterráneo es la obturación del emisor causada por la intrusión radicular y/o la absorción de partículas pequeñas del suelo. Se ha demostrado que las raíces de los cultivos se concentran preferentemente alrededor de los emisores enterrados, debido principalmente al contenido de agua y nutrientes más elevado en esta zona (Bar-Yosef *et al.*, 1991; Phene *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 2005), llegando en ocasiones a reducir considerablemente el flujo de agua de los emisores enterrados (Camp, 1998; Yu *et al.*, 2006), y por tanto, la uniformidad del riego (de Jesús Souza *et al.*, 2014).

Los principales tratamientos para evitar la intrusión de raíces requieren la aplicación de un ácido diluido o de un herbicida. Por ejemplo, la trifluralina es un herbicida habitual que se absorbe fuertemente por los coloides del suelo y limita de forma eficiente el crecimiento de las raíces en las cercanías del emisor (Dasberg y Or, 1999). Sin embargo, la aplicación de este herbicida se encuentra prohibida desde el año 2008 en la Unión Europea (Regulación CE 1107/2009). Otros tratamientos preventivos se basan en la aplicación de cloro y ácidos, sin embargo su aplicación es costosa, pueden dañar el medio ambiente y requieren un mantenimiento efectivo. Además, el uso de cloro puede inducir a una salinización del medio y afectar sensiblemente al rendimiento de los cultivos (Pedrero *et al.*, 2014).

Una clara alternativa a los tratamientos químicos pasa por un diseño adecuado hidráulico de los emisores subterráneos capaz de evitar la succión de partículas del suelo y la intrusión radicular. En este sentido, se han realizado pocas investigaciones que evalúen el comportamiento de diferentes tipologías de emisores frente a la intrusión radicular. Por ejemplo, Hernández (2010) desarrolló un sistema de protección contra la intrusión radicular basado en el material usado en los plásticos de las botellas de refresco que limitó de forma eficiente la intrusión radicular. Además, es importante destacar que la mayoría de los diseños y evaluaciones no tienen en cuenta el funcionamiento hidráulico de los emisores frente a la obstrucción (de Jesús Souza *et al.*, 2014).

Por lo tanto, puesto que la intrusión radicular en un emisor de riego subterráneo está muy relacionada con sus características hidráulicas y con su caudal, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la intrusión radicular en 31 tipos de emisores al objeto de seleccionar los más adecuados para su uso en condiciones de riego subterráneo.

Material y Métodos

El ensayo se realizó en un invernadero instalado en la Finca Experimental del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), localizada en Santomera (Murcia). Se instalaron 31 box de 60 cm de ancho, 100 cm de largo y 75 cm de alto, de material PVC de alta densidad. En cada contenedor se instalaron 3 mangueras de polietileno (\varnothing 16 mm), cada una de ella con 6 emisores planos separados a 20 cm (un tipo de emisor diferente en cada posición en el box) (Figura 1), enterradas a 15 cm de profundidad.

En función de las características hidráulicas y del caudal, se seleccionaron 31 tipos de emisores de diferentes fabricantes y que en su catálogo son ofertados como emisores recomendados para instalaciones de riego subterráneo. Los 31 tipos de emisores fueron de las siguientes características hidráulicas, i) 8 emisores autocompensantes (PC), ii) 8 emisores autocompensantes y antisucción (PC-AS), iii) 8 autocompensantes, antisucción y antidrenantes (CNL) y iv) 7 emisores turbulentos (T). Para cada grupo de 8 emisores se seleccionaron diferentes caudales de descarga, igualmente siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de cara a su uso en riego subterráneo, con lo que se trabajó con caudales de descarga para las distintas combinaciones de emisores de 1, 1,6 y 2,3 L h⁻¹. De cada tipo de emisor se realizaron tres repeticiones dispuestas en box diferentes. La tabla 1 muestra las características hidráulicas y el caudal de los diferentes tipos de emisores.

Tabla 1. Características hidráulicas de los tipos de emisores

Tipo emisor	Ecuación emisor ($q = k \cdot p^x$)	Tipo emisor	Ecuación emisor ($q = k \cdot p^x$)
PC1	$q = 1 \cdot p^0$	CNL1	$q = 1 \cdot p^0$
PC1,6	$q = 1,6 \cdot p^0$	CNL1,6	$q = 1,6 \cdot p^0$
PC2,3	$q = 2,3 \cdot p^0$	CNL2,3	$q = 2,3 \cdot p^0$
PC-AS1	$q = 0,9 \cdot p^0$	T1	$q = 0,31 \cdot p^{0,49}$
PC-AS1,6	$q = 1,5 \cdot p^0$	T1,6	$q = 0,50 \cdot p^{0,49}$
PC-AS2,3	$q = 2,2 \cdot p^0$	T2,3	$q = 0,69 \cdot p^{0,46}$

*PC: emisor autocompensante, PC-AS: emisor autocompensante y antisucción, CNL: emisor autocompensante, antisucción y antidrenante, T: emisor turbulento.

El comportamiento hidráulico de los emisores se puede describir mediante la ecuación de (Keller y Karmelli, 1975):

$$q = k \cdot p^x \quad (1)$$

donde q es el caudal del emisor (l h⁻¹); k es el coeficiente de descarga, que es una constante de proporcionalidad que caracteriza cada emisor; p es la presión de trabajo del emisor (m H₂O) y x es el exponente de descarga del emisor.

En marzo de 2014, los 31 contenedores se rellenaron con un sustrato compuesto por 80% de turba rubia y 20% de arena, de modo que las mangueras quedaron enterradas a una profundidad aproximada de 15 cm. En abril se sembró grama Bermuda. El riego se realizó diariamente con agua procedente del transvase Tajo-Segura para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. El agua de riego a fin de evitar posibles obturaciones debidas a la presencia de partículas, fue filtrada con filtro de anillas a 50 micras.

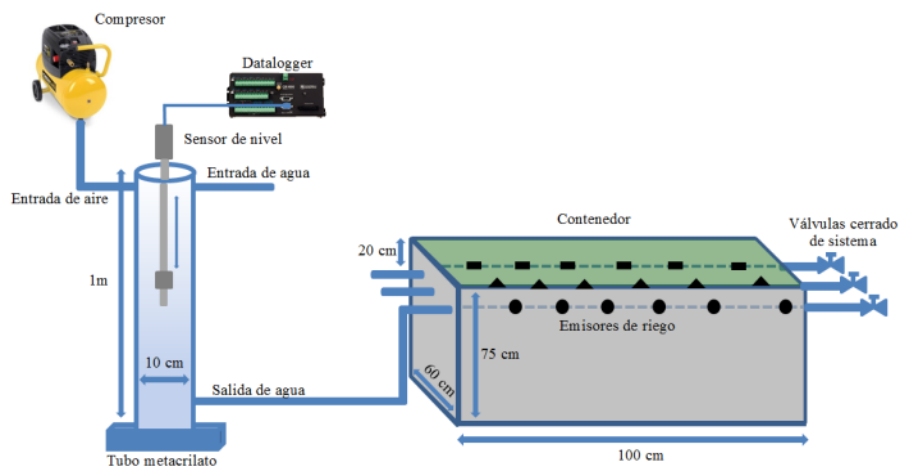


Figura 1. Detalle de la disposición de las mangueras y goteros en los distintos box, así como el dispositivo de medida y datalogger para la evaluación de los caudales de descarga,

Para comprobar la existencia de la intrusión radicular en los emisores enterrados, se diseñó un sistema compuesto por un compresor de aire, válvulas reguladoras de presión y manómetros que permitieron presurizar un tubo de metacrilato transparente y rellenable con agua (altura = 1m y $\varnothing = 0.1$ m) durante cada ensayo y mantener una presión de trabajo constante de 1 atm. En el interior del tubo se instaló un sensor de nivel de líquido magnetoestrictivo (M-Series Modelo USTD II; precisión 0.05 mm) que permitió cuantificar las variaciones de nivel para cada test y de este modo conocer la descarga de cada una de las mangueras en cada contenedor en cada ensayo. El sensor de nivel se conectó a un datalogger Campbell CR 1000 con objeto de almacenar los datos de cada ensayo cada 15 s. De este modo, la intrusión radicular se asoció a una reducción de descarga observada entre diferentes días de medidas. Con objeto de realizar los ensayos en cada contenedor en condiciones controladas, en cada contenedor se instalaron válvulas que permitieron trabajar con el sistema cerrado. En cada prueba y contenedor, el tubo de metacrilato se conectó con un manguito microtubo conectado a cada manguera para introducir el agua en el contenedor. Para cada ensayo se registró el volumen de agua aplicada por cada manguera en 120 segundos. Los ensayos se realizaron mensualmente durante 308 días. El primer test se llevó a cabo antes de sembrar la grama de modo que los primeros registros se corresponden con una situación inicial donde no existe la posibilidad de intrusión radicular.

Resultados y Discusión

Las figuras 2, 3 y 4 muestran la descarga de los diferentes emisores de riego analizados (PC, PC-AS, CNL y T) para los caudales nominales de 1, 1,6 y 2,3 L h⁻¹ respectivamente. Con objeto de simplificar los resultados, en cada figura se muestra un ejemplo de emisor cuyo resultado es representativo del comportamiento observado en los emisores del mismo tipo (PC, PC-AS, CNL y T) y caudal.

Durante los 308 días desde la plantación, los emisores que mayor afectados se vieron en cuanto a la reducción de sus caudales con respecto al primer día de medida, fueron los emisores de régimen turbulento, siendo en esta categoría los de menor caudal lo más afectados por intrusión radicular, llegando al final del periodo de estudio a reducciones de caudal del 80%.

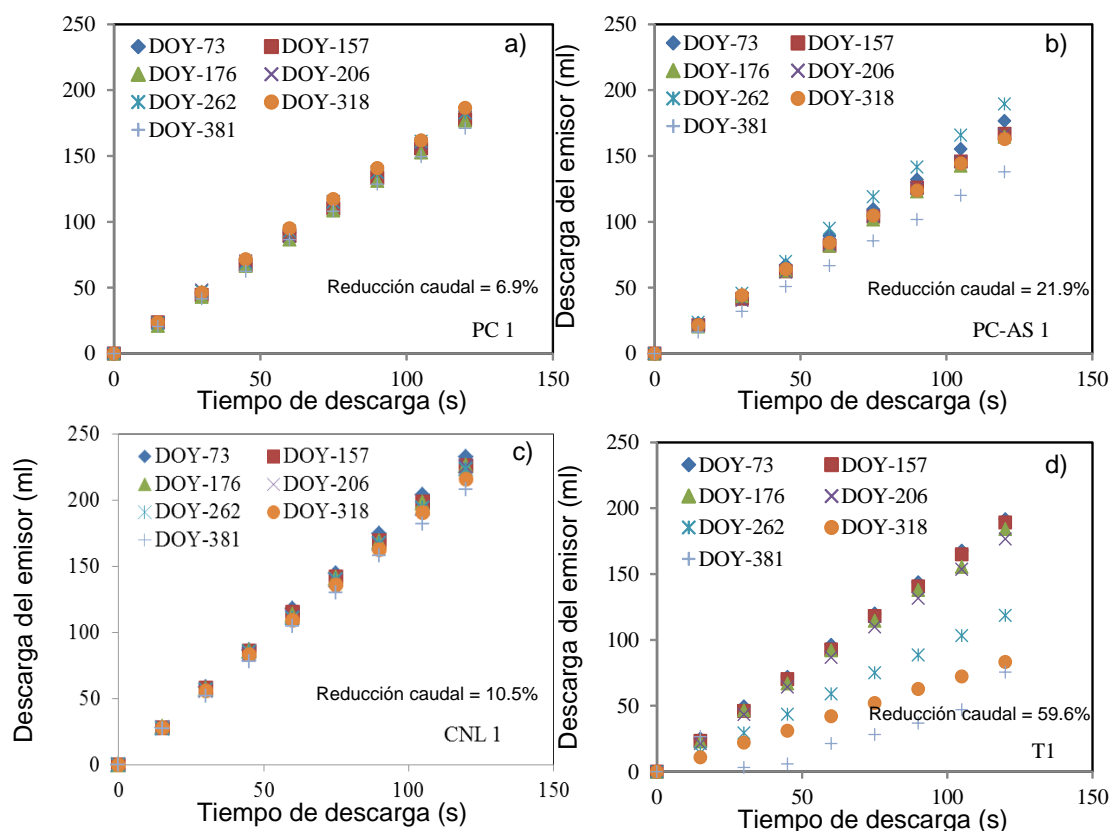


Figura 2. Descarga de los emisores PC (autocompensantes; a), PC-AS (autocompensantes y antisucción; b), CNL (autocompensantes, antisucción y antidrenantes; c) y T (turbulentos; d) con un caudal nominal de 1 l h^{-1} para los diferentes ensayos realizados durante el experimento. Cada valor es el valor medio de tres repeticiones.

Por otro lado, destacar que para el periodo de estudio de 308 días, y para todos los caudales evaluados 1 , $1,6$ y $2,3 \text{ L h}^{-1}$, los emisores de régimen PC, PC-AS y CNL no experimentaron reducciones estadísticamente significativas de flujo con respecto al inicio del ensayo, si bien es cierto que en la última evaluación se observaron reducciones con respecto al inicio del ensayo entre el 7-20%, por lo que es previsible que para un periodo mayor los emisores se vean afectados por intrusión radicular, siendo por tanto un periodo mayor que los de régimen turbulento. Por tanto cabría esperar que a largo plazo todos los emisores en mayor o menor medida se vean afectados por intrusión radicular, siempre y cuando no se realice ninguna acción para minimizar los efectos de la intrusión, como la aplicación de sustancias inhibidoras del crecimiento radicular en la zona de descarga del emisor.

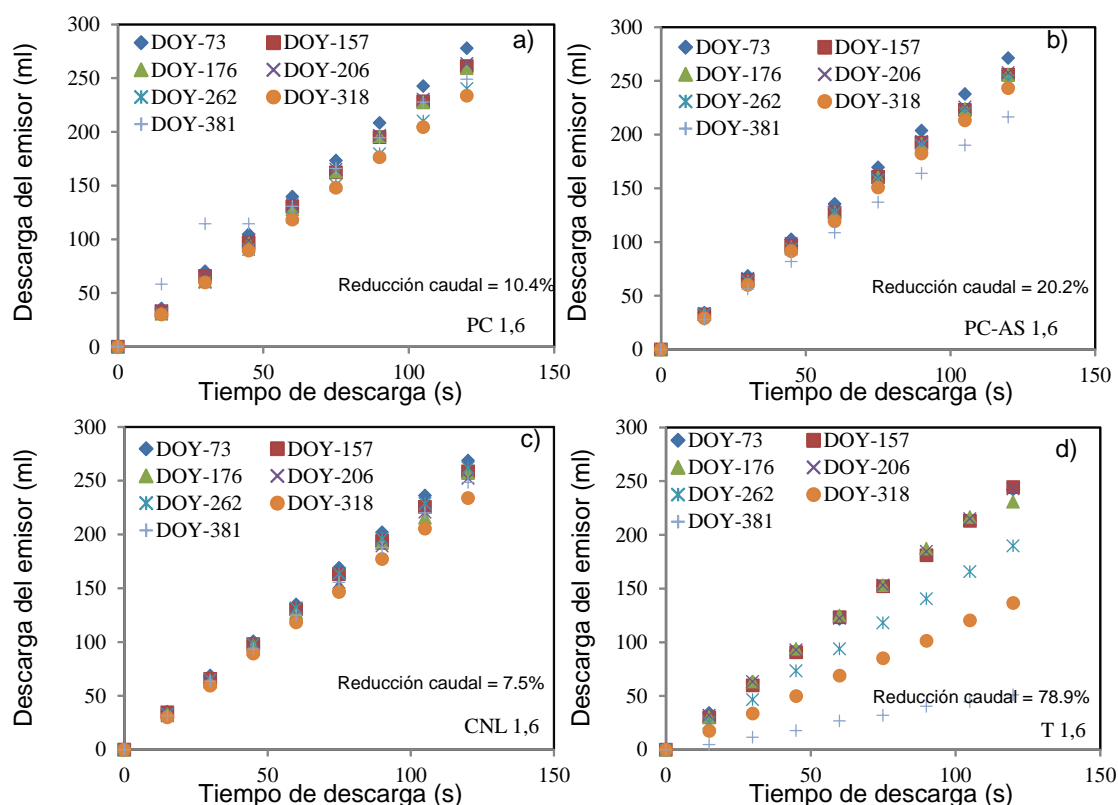


Figura 3. Descarga de los emisores PC (autocompensantes; a), PC-AS (autocompensantes y antisucción; b), CNL (autocompensantes, antisucción y antidrenantes; c) y T (turbulentos; d) con un caudal nominal de 1,6 l h⁻¹ para los diferentes ensayos. Cada valor es el valor medio de tres repeticiones.

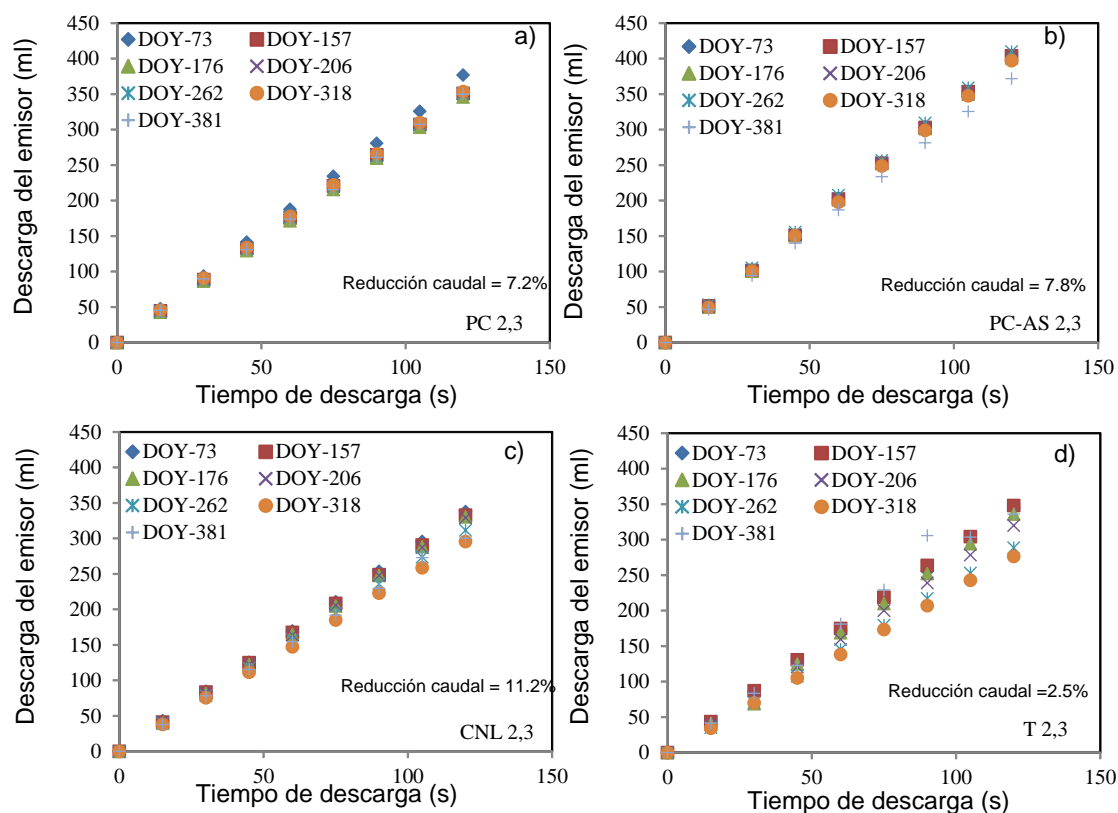


Figura 4. Descarga de los emisores PC (autocompensantes; a), PC-AS (autocompensantes y antisucción; b), CNL (autocompensantes, antisucción y antidrenantes; c) y T (turbulentos; d) con un caudal nominal de 2,3 l h⁻¹ para los diferentes ensayos. Cada valor es el valor medio de tres repeticiones.

Conclusiones

Los resultados preliminares del ensayo muestran que los emisores de régimen turbulento son más sensibles a la intrusión radicular, siendo esta mayor cuanto menor es el caudal de descarga de los emisores. Con respecto a los emisores de régimen autocompensante (PC), autocompensante y antisucción (PC-AS) y autocompensante, antisucción y antidrenante (CNL), su caudal no se vio afectado significativamente durante el periodo de estudio, si bien es cierto que por su tendencia cabe prever que durante un periodo mayor y sin la aplicación de elementos inhibidores del crecimiento radicular se vean afectados por intrusión radicular.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido cofinanciado por el Ministerio de Economía y Competitividad dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) con número de expediente IPT-2012-0480-310000.

Bibliografía

- Alarcón, A. L.; Lucas, F. J. & Munuera, M. T. 2005. Comparativa del desarrollo y productividad de un cultivo de tomate bajo riego localizado subterráneo frente a riego superficial. *Actas XXIII Congreso Nacional de Riegos*.
- Bar-Yosef, B., Martínez, H.J.J., Sagiv, B., Levkovitch, I., Markovich, M., Phene, C.J., 1991. Processing tomato response to surface and subsurface drip phosphorus fertigation. In: *Bard Project Scientific Report*, Bet Dagan, Israel, pp. 175–191.
- Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. *Trans ASAE* 41: 1353-1367.
- De Jesus Souza, W., Rodrigues-Sinobas, L., Sánchez, R., Arriel-Botrel, T., Duarte-Coelho, R., 2014. Prototype emitter for use in subsurface drip irrigation: Manufacturing, hydraulic evaluation and experimental analyses. *Biosyst. Eng.* 128, 41–51 .
- Hernandez, M. G., 2010. Protecao de gotejadores a obstrucao por intrusao radicular em irrigacao subsuperficial de figueiras. In *Programa de Pos-Graduacao em Engenharia Agrícola*. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria e RS.
- Keller and D. Karmelli, J. (1975). Trickle irrigation design. *Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp*, Glendora, Calif.
- Lamm, F.R., Camp, C. R. 2007. Chapter 13. Subsurface drip irrigation in Microirrigation for Crop Production. 473–551.
- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria e RS.
- Pedrero, F., Maestre-Valero, J.F., Mounzer, O., Alarcón, J.J., Nicolás E., 2014. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agric. Water Manag.* 146, 228–237.
- Phene, C.J., Davis, K.R., Hutmacher, R.B., Bar-Yosef, B., Meek, D.W., Misaki, J., 1991. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sci.* 12, 135–140.
- Sánchez, C. C. 1996. Riego por goteo subterráneo en olivar, *Vip Underground*. *Fruticultura Profesional*, nº 77, p 18-32.
- Wang, R.L., Gong, S.H., Li, G.Y., 2005. The methods and measures of root intrusion protection in subsurface drip irrigation. *Water Sav. Irrig.* 22, 205–211 (in Chinese, with English abstract).
- Yu, Y.D., Shihong, G., Jiandong, W., Yanfeng, L.I., 2006. Research advances of subsurface dripper clogging and considerations for the development of SDI in China.

In: Proceedings of the International Conference on Effective Utilization of Agric Soil & Water Resources and Protection of Environment, Nanjing, China, pp. 212–217.

R09 - Estructura de datos para la gestión integrada de redes de riego en jardinería urbana

Muñoz Sánchez, A.¹, López-Galarza, S.², Manzano, J.³, Martínez Gimeno, M.A.⁴

¹ Unidad Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino Vera s/n 46022 Valencia, almusan@upvnet.upv.es; ² Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València, Camino Vera s/n 46022 Valencia, slopez@prv.upv.es; ³ Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, Camino Vera s/n 46022 Valencia, juamanju@agf.upv.es; ⁴ Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo 30100, Murcia magimeno@cebas.csic.es

Resumen

Los jardines urbanos consumen grandes volúmenes de agua que, por lo general, es suministrada mediante redes de riego presurizadas que generan un importante consumo energético. Es por ello que el mantenimiento de los espacios verdes exige un manejo eficiente de los recursos. Es imprescindible que la gran cantidad de datos que supone la administración de los elementos que componen y sustentan los espacios verdes, pueda estar registrada y constantemente actualizada para ajustarse a los requerimientos del sistema, siendo necesaria su vinculación a las nuevas tecnologías. En el presente trabajo se ha desarrollado una plataforma informática para el almacenamiento y gestión de información relativa al riego de jardines que permite optimizar los recursos empleados, así como realizar un seguimiento del estado del sistema a través de una aplicación web. El sistema automatizado estructura los datos en los siguientes bloques: i) información meteorológica vinculada a un algoritmo de cálculo de la demanda evapotranspirativa de la atmósfera; ii) un doble módulo de inventariado de elementos tales como entidades georreferenciadas (parcelas, hidrozonas...) e infraestructuras (elementos de control remoto, pozos de suministro...); iii) y un bloque de gestión de programaciones de riego definido en base a la optimización de turnos de riego que minimiza el consumo energético y maximiza el rendimiento de las unidades de bombeo. La plataforma, que se ha desarrollado para los jardines de la Universitat Politècnica de València (UPV), forma parte del sistema de información para la gestión ambiental, OBERON, y hace uso de la base de datos georreferenciada, COVES; ambos propiedad de la UPV. Este sistema de gestión integrado puede suponer ahorros que rondan el 43% en volumen de agua y el 26% en consumo energético.

Palabras clave: inventario, ahorro, automatización, optimización.

Database structure for integrated management for irrigation networks in urban landscapes

Abstract

Urban landscapes consume high water volumes which are usually supplied by means of pressurized irrigation networks that need high energy consumption and therefore, the green areas maintenance require an efficient use of these resources. On the other hand, it is essential to constantly register and update the large amount of data that are needed in the maintenance of the green areas, and consequently the use of new technologies is crucial. The aim of the present work has been to develop a software system for storing and managing information related to gardens irrigation management. This tool lets users optimize resources and tracking the status of the system through a web application. The automated system arranges data in the following modules: i) weather information linked to a mathematical algorithm for calculating reference evapotranspiration; ii) a double module with inventoried elements like georeferenced elements (plots, hydrozones...) and infrastructures (remote control systems, pumping units...); iii) and an irrigation management module based on optimizing intakes scheduling whose target is to improve energy efficiency in such a way the required head is lower and pump efficiency is higher. The software system, which was carried out in the gardens of the Universitat Politècnica de València, is part to the environmental management information system, OBERON, and makes use of the georeferenced database COVES, both belonging to the UPV. The integrated management system could lead the UPV to save 43% and 26% in terms of water and energy respectively.

Keywords: inventory, saving, automation, optimization.

Introducción y Justificación

El modelo de jardín urbano más común es el basado en la combinación de césped y especies arbóreas típicas de climas templados y húmedos. La principal desventaja de este patrón son las altas necesidades de riego que requiere, las cuales no pueden ser compensadas por las escasas precipitaciones de un clima semiárido como el de España. Se produce, por tanto, la necesidad de aplicar riegos que suponen un consumo adicional sobre los limitados recursos de las cuencas hídricas españolas. Algunos datos ponen de relieve la magnitud de los consumos y la importancia de racionalizarlos. La Asociación Española de Parques y Jardines (Vicente, 2001), cuantifica el uso de agua en jardinería en 6,6 mm/día de media en época de máximas necesidades. Además resaltar que, en parques y jardines urbanos, se está utilizando un 1,5% del consumo de agua total de España. No es una cifra excesivamente alta si se compara con otros usos, pero no por eso deja de ser importante. El territorio español es xerofítico en un 60% de su superficie, por lo que existe una obligación incuestionable de ahorrar agua (Pintado, 2001). Tampoco hay que olvidar que debido al cambio climático, se espera un aumento de la temperatura media que incrementará la evapotranspiración, que podría agravar las condiciones de sequía, lo cual justifica en mayor medida la necesidad de manejar los recursos hídricos de manera responsable.

Asimismo, es imprescindible destacar que en gran parte de los sistemas de riego no se dispone de cota suficiente en el punto de abastecimiento para realizar la distribución del agua por gravedad, por lo que es necesario el empleo de grupos de bombeo que aporten al sistema la presión necesaria para su correcto funcionamiento. En estos casos, el riego no sólo supone consumo de agua, sino que implica un importante consumo energético con inevitables consecuencias económicas y medioambientales.

En los últimos años, son diversos los estudios que han realizado aproximaciones, desde diferentes puntos de vista, a dicha problemática, centrándose la mayoría de ellos en la gestión hidráulica o energética de los sistemas de riego. En el ámbito agrícola, se han desarrollado herramientas informáticas para el control del riego, muchas en entorno GIS (Corenet, Progar, Irrigest, etc.), llegando hasta aquellas que agrupan módulos de programación de riego según FAO-56, con software de análisis hidráulico y módulos de optimización como HuraGis (Jiménez Bello, 2008) y Telegestar (García *et al.*, 2012). También la preocupación por el problema energético en jardines comienza a aparecer de manera específica en la literatura científica prestándose atención a las repercusiones del diseño de las subunidades (Arbat *et al.*, 2012), a la aplicación de herramientas de análisis hidráulico (Manzano *et al.*, 2011), y al estudio incipiente del conjunto de parámetros hidráulicos y energéticos (Martínez Gimeno *et al.*, 2013).

La gestión de los espacios verdes exige un manejo eficiente de los recursos. La mejora de la eficiencia global de los sistemas de riego en jardinería se puede abordar desde distintos enfoques, y el que aquí se presenta, se fundamenta en la búsqueda de la eficacia de la gestión través de las herramientas que proporcionan las nuevas tecnologías.

En el presente trabajo se expone el desarrollo de una plataforma informática para el almacenamiento, mantenimiento y gestión de información relativa al riego de jardines que permite optimizar los recursos empleados, así como realizar un seguimiento del

estado del sistema a través de una aplicación web. En el apartado correspondiente se detallan los potenciales ahorros que se conseguirían con este método global de gestión.

Zona de estudio

El software informático se ha desarrollado para la gestión de los jardines del campus de Vera de la Universitat Politècnica de València (UPV) ($39^{\circ} 28' 54''$ N, $0^{\circ} 20' 37''$ O, 7 m sobre el nivel del mar). El campus tiene un área ajardinada de 120.227 m² con más de 2.300 árboles (Esteras y Sanchis, 2012). El jardín tiene un sistema de riego dividido en dos redes independientes operadas por dos unidades de bombeo que suministra agua a través de 22 km de tuberías. Cada una de estas redes posee aproximadamente 160 tomas y 1.400 emisores (difusores y aspersores). Actualmente la red de riego se gestiona mediante un sistema de control remoto que permite establecer programaciones de riego por medio de la apertura y cierre de electroválvulas.



Figura 1. Imagen aérea del campus de Vera. Fuente: Google Earth

Bases del sistema automatizado de gestión integrada

El software informático se basa en las premisas del protocolo desarrollado por Martínez Gimeno (2014) para gestión eficiente de jardines desde el triple punto de vista agronómico, hidráulico y energético. La plataforma refleja las pautas que se definieron para el riego eficiente de jardines:

- El cálculo de necesidades de riego mediante las recomendaciones FAO (Allen *et al.*, 1998) y el método de del Coeficiente de Jardín (Costello *et al.*, 2000) adaptado a los requerimiento de la xerojardinería y el riego deficitario. Para ello, se emplearon una serie de coeficientes que ajustaban el cálculo de las necesidades de riego en base a las diferentes hidrozonas que un jardín puede disponer, de forma y manera, que cada una de las electroválvulas aporta la dosis de riego ajustada estrictamente a las necesidades de las especies plantadas en función de su microclima y la densidad de plantación.
- La caracterización y calibrado del modelo hidráulico de la red del campus de Vera y modelización del sistema mediante software informático EPANET (Rossman, 2000) con el fin de representar de la manera más fiel posible el funcionamiento de la red de riego. El modelo se basó en la información previamente recogida de inventario de la instalación hidráulica.
- El ajuste de los turnos de riego basado en el tratamiento de datos bajo la herramienta de optimización mediante algoritmos genéticos. La programación de riego definida de esta forma, permite la agrupación de caudales aplicados en

períodos de tiempo que supongan un consumo energético mínimo en los bombeos. La herramienta de optimización se apoyaba en el módulo de EPANET, tomando una estructura de datos para el proceso de cálculo y resultado final (Jiménez Bello, 2008)

Dicho modelo teórico desarrollado, arrojó unos posibles ahorros que auguran la eficacia de la herramienta y justifican su posterior implementación como software de gestión de riego. Los resultados fueron calculados bajo los consumos hídricos y las condiciones climáticas de año 2013, por lo que, dependiendo de la climatología futura, podrían variar ligeramente. Por un lado, se estimó un 43% de ahorro de agua respecto a los consumos efectuados durante dicha campaña sin seguir las premisas del protocolo. Por el otro, con la reorganización de turnos para minimizar el consumo energético en los bombeos, se estimó un ahorro energético de aproximadamente el 27%. Para conocer la magnitud de la mejora, se comparó el consumo energético optimizado, con el que se produciría simulando mediante la herramienta EPANET la jornada de riego tipo.

Información para el sistema automatizado de gestión integrada de la UPV

Como se ha indicado anteriormente, el método utilizado para minimizar el consumo de agua y energía en la gestión del riego, ha consistido en el desarrollo de un sistema de información automatizado para gestionar toda la información relativa al riego del jardín. La cantidad información asociada a un jardín es importante y de diferente tipología, considerando la variabilidad en las parcelas, sistema de riego y diferentes usos del espacio verde. El sistema es capaz de almacenar y procesar grandes cantidades de datos que son presentados al usuario de forma comprensible. En estos casos, el perfil del usuario puede ser diverso, pues aún siendo siempre gestores de la instalación, pueden tener diferentes objetivos a la hora de gestionar el sistema (cálculo de dosis riego, mantenimiento, integración de nuevo material vegetal, urbanización del campus...).

En primer lugar, es importante destacar que el sistema diseñado toma datos de diferentes fuentes para poder realizar las operaciones conducentes a la elaboración de una programación de riego óptima. Estos flujos de información quedan plasmados en la Figura 2. Los procesos que alimentan la base de datos, se tratarán en apartados posteriores.

Información meteorológica obtenida directamente de los sensores de una estación meteorológica ubicada en el mismo emplazamiento del jardín de la UPV. Aunque estos sensores se encuentran físicamente en el jardín, tienen su propio software de adquisición de datos y una estructura de almacenamiento propia, por eso se consideran como proveedor de información.

Información ambiental obtenida del sistema de información para la gestión ambiental de la UPV denominado OBERÓN. De esta fuente se obtiene información sobre infraestructuras relacionadas con el riego tales como pozos o contadores, así como indicadores de comportamiento ambiental relacionados con el consumo de agua y energía.

Información geográfica obtenida de la base de datos georreferenciada y gestionada por el Servicio de Infraestructuras de la UPV denominada COVES. De esta fuente, se

obtienen las características físicas de las diferentes parcelas del jardín, así como los elementos asociados al sistema de riego.

Información hidráulica obtenida del software EPANET en el cual está definido el modelo hidráulico de la red del campus de Vera. El modelo consta básicamente de nudos, tuberías, bombas, pozos y válvulas.

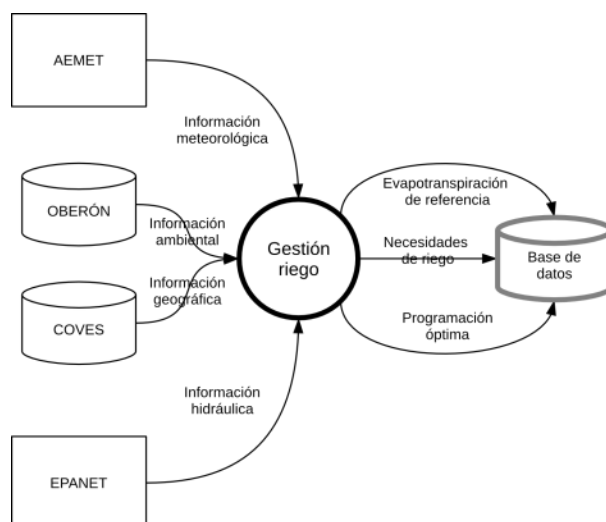


Figura 2. Diagrama de flujo de datos del sistema de gestión de riego

Descripción de los elementos del sistema

Para poder llevar a cabo una gestión adecuada del riego de los jardines es necesario registrar información previa sobre la entidad que gestiona los jardines, es decir, la UPV. Esta información es básicamente administrativa y geográfica. El sistema desarrollado tiene presente este tipo de información, definiendo el usuario la información administrativa y tomando la geográfica directamente de la base COVES.

Aunque el desarrollo de la plataforma se centra en el campus de Vera, es capaz de admitir diferentes emplazamientos para una misma entidad gestora. La UPV dispone de tres campus universitarios: el ubicado en la ciudad de Valencia que es base para el estudio de este trabajo, otro en Gandia (Valencia) y uno más en la ciudad de Alcoy (Alicante). Cada uno de estos emplazamientos dispone de distintos jardines o parques que se tratarían como unidades de riego distintas, con diferentes infraestructuras de riego y de comunicaciones, y con diferentes particularidades físicas y comportamiento ambiental. Considerando el objeto de estudio, el sistema desarrollado se compone de diferentes módulos cuyas características se describen a continuación:

Módulo de inventario de equipamientos: Es posible dividir los equipamientos de un jardín destinados al riego en dos grandes grupos: equipamiento de comunicaciones y equipamiento de riego (detallado anteriormente junto a la descripción del jardín). El primero permite que los diferentes elementos destinados al riego puedan comunicarse entre sí y con el software de gestión; mientras que el segundo está directamente relacionado con el riego de las parcelas. Las comunicaciones se pueden resolver de diferentes maneras dependiendo de las características orográficas del emplazamiento (infraestructuras de telecomunicaciones disponibles, infraestructuras eléctricas, aislamiento geográfico, etc.). Los equipos de comunicaciones instalados en el jardín del campus de Vera se componen de los elementos de la siguiente figura.

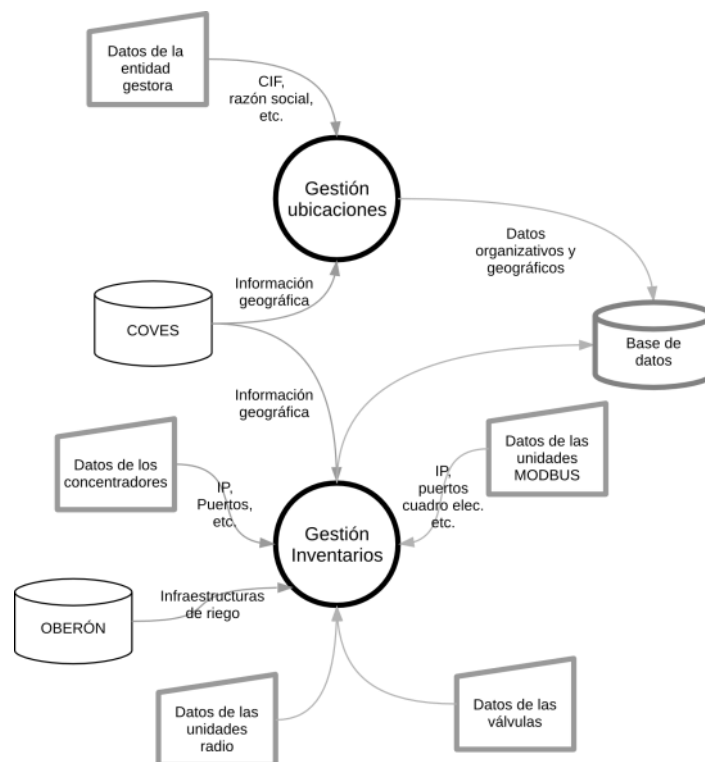


Figura 3. Diagrama de flujo de datos del módulo de inventario de equipamientos de comunicaciones

A continuación se detallan las características más importantes de cada uno de ellos.

- Concentradores: elementos electrónicos ubicados en las azoteas de varios edificios y asociados a un cuadro eléctrico. Estos dispositivos reciben instrucciones directamente del software de gestión y las envían a las unidades radio o a los módulos MODBUS.
- Módulos MODBUS: son dispositivos electrónicos que permiten controlar el comportamiento (apertura – cierre) de las electroválvulas hasta las que llega físicamente un cable. Estos elementos están asociados a un cuadro eléctrico y disponen de conexión de red cableada, a través de la cual, pueden recibir las órdenes de los concentradores.
- Unidades radio: estos elementos se instalan para controlar las electroválvulas que no están conectadas a un cuadro eléctrico directamente con un cable. Las unidades radio se pueden instalar prácticamente en cualquier parte (normalmente en las mismas parcelas del jardín). Tienen una antena que les permite recibir las instrucciones del concentrador vía radio y una batería para proporcionar señales eléctricas a la electroválvula.

Módulo de necesidades de riego: El objetivo de este módulo es obtener, en un primer paso, un cálculo de las necesidades de agua de cada parcela y, en un segundo paso, un tiempo de apertura de la electroválvula que permita suministrar a la zona afectada por ella la cantidad de agua que necesita. El sistema reconoce en cada una de las electroválvulas las características hidráulicas de la subunidad que abastece.

Para obtener esta información se parte de los datos proporcionados por los sensores meteorológicos relativos a temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar y precipitación; y se sigue el protocolo de cálculo desarrollado por Martínez Gimeno (2014). Tanto los valores de la evapotranspiración de referencia

obtenidos, como la dosis óptima de riego, se almacenan en el sistema para poder analizar y evaluar el comportamiento del mismo con todo detalle a posteriori.

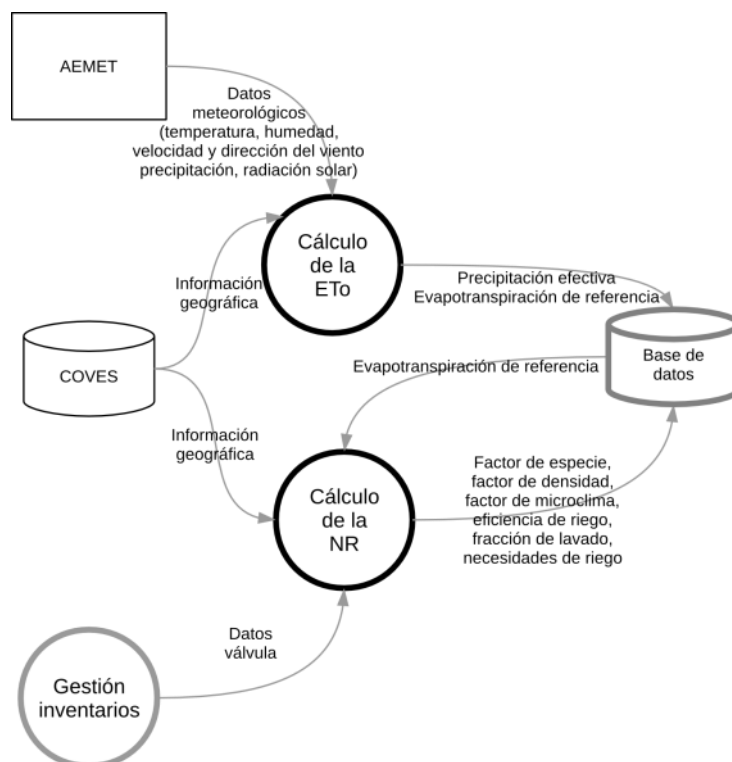


Figura 4. Diagrama de flujo de datos del módulo de necesidades de riego

Módulo de gestión de programaciones: El objetivo del módulo de gestión de programaciones es obtener una secuencia de apertura y cierre de electroválvulas que, basada en las necesidades óptimas de agua calculadas por el módulo anterior, minimice el consumo de energía de las unidades de bombeo. Para conseguirlo se utilizan los datos proporcionados por el software EPANET sobre el modelo de la red y las secuencias obtenidas mediante la optimización de turnos.

El resultado obtenido es una secuencia de apertura y cierre de electroválvulas con una frecuencia determinada a lo largo del período de riego. Todos estos datos se almacenan también en el sistema para poder estudiarlos una vez obtenido el consumo de agua.

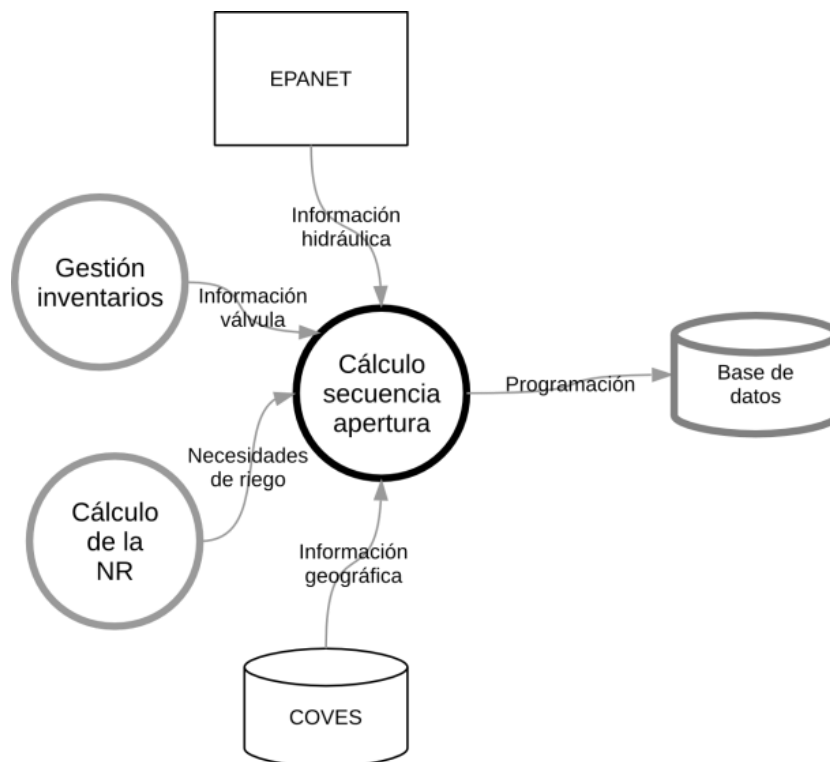


Figura 5. Diagrama de flujo de datos del módulo de gestión de programaciones

Herramientas de software para el desarrollo del sistema

Puesto que el software para gestión del riego está albergado en los servidores de la propia universidad, se han seguido las directrices del Área de Sistemas de Información y Comunicaciones de la UPV en cuanto a software de gestión de bases de datos y estándares de programación. Sus características principales son las siguientes:

- El sistema de gestión de bases de datos utilizado para la implementación del modelo de datos ha sido ORACLE, pero cualquier sistema de gestión de datos relacionales, comercial o no, sería adecuada.
- El lenguaje utilizado para la creación de la estructura de datos, la manipulación de los datos y el control de las transacciones es SQL.
- Los estándares de programación utilizados para la gestión y presentación de información han sido XML, HTML y CSS, lo que permite acceder a la información desde cualquier dispositivo que sea capaz de ejecutar un navegador web, independizando la plataforma de gestión del riego del sistema operativo utilizado por el dispositivo. Adicionalmente se combina el HTML y CSS con JavaScript, JQuery y JqPlot para hacer más visual la presentación del software.
- El acceso a las partes restringidas de la plataforma se lleva a cabo mediante el sistema de acreditación utilizado por la UPV para el acceso a su intranet, con lo que queda protegido de accesos no autorizados.

En definitiva, el sistema desarrollado para la gestión eficiente del riego parte de una serie de datos que, a través de módulos de programación, permiten obtener los volúmenes de riego a aplicar en cada parcela sobre una programación de turnos de riego optimizada. La gestión de la plataforma puede llevarse a cabo desde diferentes dispositivos (ordenador, Tablet o Smartphone) con una interfaz amable para el usuario.

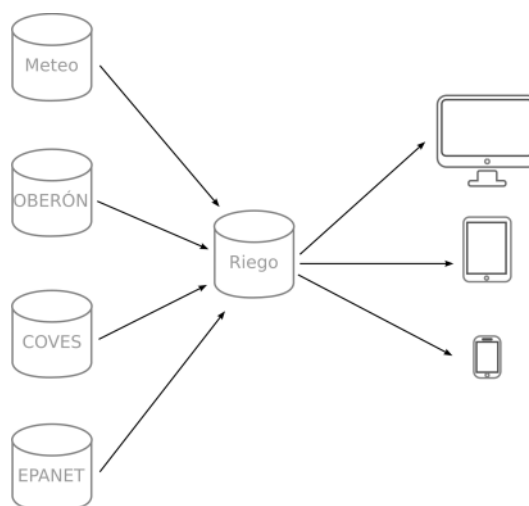


Figura 6. Diagrama de contexto del sistema de gestión de riego

Conclusiones

La plataforma informática para la gestión del riego de jardines forma parte del sistema de gestión del riego y es, como cualquier otro sistema de información, una estructura lógica que se compone de procesos que consumen y generan datos, cuya interpretación permite obtener información valiosa para la toma de decisiones. Este tipo de sistemas manejan grandes cantidades de datos cuya gestión, para lograr la óptima eficiencia de los recursos hídricos y energéticos, debe estar coligada al tratamiento automatizado de los mismos. Sería prácticamente imposible abordar de otro modo la gestión de la información para manejar el sistema de manera eficiente.

El software para la gestión eficiente del riego en los jardines de la UPV está siendo implantado en la actualidad, por lo que aún no se dispone de datos comparativos respecto a la gestión que se realizaba sin la plataforma. En todo caso, como se ha indicado anteriormente, el sistema automatizado ha sido diseñado en base a las premisas de Martínez Gimeno (2014), por lo que se pueden extrapolar los posibles ahorros que se alcanzarán el momento en el que la plataforma esté funcionando.

A partir de la total puesta en marcha de la plataforma, el seguimiento y evaluación de la misma, en cuanto a consumo de agua y energía, se realizará mediante el mencionado sistema de gestión ambiental OBERÓN, ya que la plataforma está integrada en este sistema. OBERÓN almacena gran cantidad de datos, lo que permite comparar las necesidades de riego calculadas con las programaciones establecidas en función de los consumos, así como diversos indicadores ambientales. Este es uno de los puntos fuertes del sistema, puesto que permite controlar los resultados parciales y totales de consumos a lo largo del tiempo, así como las posibles anomalías producidas por la modificación no consensuada con los gestores del riego.

Debido a la propia evolución del jardín y de su sistema de riego a lo largo del tiempo, la plataforma requerirá una actualización continua con un procedimiento previsto y organizado de sus bases de datos para ajustar la gestión del riego a los escenarios reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la ayuda SP20120823 del Programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (PAID-06-12) del Vicerrectorado de Investigación de la Universitat Politècnica de València a través del proyecto “Estrategias para el ahorro de agua y energía en jardinería Mediterránea. Comparación de las necesidades de riego determinadas con modelos agro-hidrológicos y sondas de humedad de suelo e integración en la gestión hidráulica”.

Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration; Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. United Nations. Roma.
- Arbat, G. Pujol, J. Plegri, M. Pug-Bargés, J. Durna-Ros, M. Ramírez de Cartagena, F. 2012. Efecto del diseño hidráulico en el consumo de energía y el coste en jardines domésticos. XXX Congreso Nacional de Riegos. Albacete.
- Costello, L. R., Jones, K. S. 1999. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. University of California CE. California Dep. of Water Resources.
- Esteras, F. J., Sanchis, E. 2012. Campus Botànic UPV. Vera. Universidad Politécnica de Valencia.
- García Asín, S. Paño, J., Aliod, R., Faci, E. 2012. Telegestar: integración de herramientas de simulación hidráulica y ahorro energético para redes de riego a presión en los sistemas de riego a presión. XXX Congreso Nacional de Riegos. Albacete.
- Jimenez Bello, M.A. 2008. Integración de los procesos agronómicos e hidráulicos del riego a presión en un entorno SIG para la gestión eficiente de Comunidades de Regantes. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Manzano, J., García-Serra, J., Palau, C. V., Cremades, R., Morente, J. 2011. Análisis y mejoras de la instalación de riego del Campus de la UPV. II Jornadas de Ingeniería del Agua. Modelos numéricos en dinámica fluvial. Instituto Flumen - UPC – CIMNE. ISSN 978-84-615-4023-5. Barcelona.
- Martínez Gimeno, M.A., 2014. Estrategia para la evaluación agronómica, hidráulica y energética en jardinería. Aplicación a la gestión de jardines públicos. Trabajo Final de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Martínez Gimeno, M.A., Manzano, J., Balbastre, I., García-Serra, J. 2013. Evaluación hídrica y energética en jardinería. Aplicación a los jardines de la UPV. III Jornadas de Ingeniería del Agua. La protección contra los riesgos hídricos. Volumen 1. 393-400. Marcombo S.A., ISBN 978-84-267-2070-2. Valencia.
- Rossman, L.A. 2000. EPANET 2. Users manual. Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Oh 45268
- Vicente, J. 2001. Xerojardinería y utilización de aguas no potables para riego de parques y jardines. Jornadas Internacionales de Xerojardinería mediterránea. Madrid.

R10 – Influência dos fatores geométricos de drenos (crepina) no comportamento hidrodinâmico de filtros de areia

Mesquita, M. ¹, Testezlaf, R. ², Ponciano de Deus, F. ³ y Machado da Rosa, L. ⁴

1 Eng° Agrícola, Doutor, Universidade Estadual de Goiás, Rua: Protestato Joaquim Bueno, N. 945, Santa Helena de Goiás-GO, CEP: 75.920-000, Brasil, e-mail: marciomes@gmail.com; 2 Eng° Agrícola, Doutor, Universidade de Campinas, Campinas-SP, Brasil; e-mail: bob@feagri.unicamp.br; 3 Eng° Agrícola, Doutor, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil, e-mail: fpdagricola@yahoo.com.br; 4 Eng° Químico, Doutor, Universidade Caxias do Sul, Caxias do Sul-RS, Brasil, e-mail: lmrosa1@ucs.br

Resumo

O dreno é um componente geralmente de polipropileno, instalado internamente sobre o fundo falso ou em tubulações de coleta dos filtros de areia, com a função de permitir a passagem do fluxo de água filtrada, impedindo a entrada de grãos de areia da camada porosa para o sistema de irrigação, e também por distribuir uniformemente o fluxo reverso água, ascendente, no leito durante o processo de retrolavagem. Esses acessórios podem ter diferentes formatos e dimensões, sendo a sua escolha e critérios de projeto (posicionamento ou arranjo e número de elementos) definidos pelos fabricantes. A inadequação do seu projeto promove a distribuição desuniforme das linhas de fluxo promovendo o desarranjo da camada porosa e a formação de agregados de impurezas previamente retidas com o material filtrante, afetando o processo de filtração subsequente e a altura manométrica total disponível para o sistema de irrigação em consequência do aumento da perda de pressão do equipamento. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes modelos de drenos no comportamento hidrodinâmico de filtros de areia e no perfil de distribuição das linhas de fluxo durante o escoamento descendente e ascendente, respectivamente, processos de filtração e retrolavagem. Empregou-se a técnica de fluidodinâmica computacional (CFD) na simulação do perfil de distribuição das linhas de fluxo nos dois sentidos de escoamento, em um módulo configurado com dois modelos de drenos comerciais no Brasil. Os resultados mostraram que os modelos comerciais distribuem de forma irregular as linhas de fluxo do escoamento sob o leito filtrante, e apresentam pontos de estagnação de fluxo, isto é, regiões da camada porosa sem escoamento de água, para ambos os sentidos de escoamento. Esse comportamento intensificou o módulo da velocidade em algumas regiões e reduziu noutras, isto possibilita a formação de agregados e promove uma fluidização irregular.

Palavras chaves: fluidodinâmica computacional, simulação numérica, filtração, camada porosa.

The influence of geometric factors of the drains (crepina) in hydrodynamic sand filters behavior

Abstract

Drain is usually a polypropylene component internally mounted on sand filters bottom or in their pipe collectors, with the main function of permitting the passage of filtered water flow, which prevent the entry of sand grains from the porous coating in to the irrigation system, as well as regulate the distribution of the reverse flow of water that rises in its layer backwash process. These accessories may have different shapes and dimensions, and its choice and design criteria (positioning, arrangement, and number of elements) defined by builders. Its inadequacy has as consequence the uneven of fluxes lines, which motivates the breakdown of the porous layer, and the enclosed of the previously filtered material, affecting the following filtering process and the whole irrigation system head available, because of the equipment pressure loss. The propose of this research was to evaluate the effect of different drain models in the sand filter hydrodynamic behavior and distribution of flow downward and upward, respectively, in lines during filtering and backwash processes. Were applied in this experiment the computational fluid dynamics technique (CFD) to simulate the distribution of the flowing lines in both directions of the distribution movement in one module, arranged with two drain designs, marketed in Brazil. The results have shown that the commercial models distribute flow unevenly to the lines under the filter layer, and show flux stagnation points, in other words, there were regions of the porous layer without water flow, for both flux direction. This behave have intensified the module speed in some regions and

reduced that in others, this allows the formation of aggregates and promotes an uneven fluidization.

Keywords: computational fluid dynamics, numerical simulation, filtering, porous media.

Introdução

Filtros de areia são equipamentos utilizados no tratamento físico de água, muito utilizados na irrigação, principalmente nos sistemas de aplicação localizada, por apresentarem suscetibilidade ao entupimento em função do diâmetro reduzido dos emissores de distribuição de água. Esses filtros se diferenciam dos demais, (tela, disco, manta sintética, e outros), por apresentarem um desempenho superior na retenção de partículas inorgânicas e orgânicas, devido a sua capacidade de coletar as impurezas pela passagem da água ao longo da camada de areia. Esses filtros apresentam como dinâmica de operação o processo de filtração e de retrolavagem. O processo de filtração baseia-se na entrada de água pela parte superior do filtro, a qual é distribuída por um sistema de difusão (placa difusora) sobre o leito filtrante. Durante o escoamento no interior do leito, as partículas de impurezas presentes na água ficam aderidas a esse material. Após a passagem pelo meio filtrante e remoção das partículas suspensas, a água é coletada na parte inferior pelo sistema de drenagem, que direciona a água já filtrada para a tubulação de saída. Com o aumento do volume de água filtrada (carreira de filtração), as impurezas aderidas aos grãos do material filtrante causam o entupimento dos poros do leito filtrante, sendo necessária a realização da limpeza do filtro, processo conhecido como retrolavagem. Os mecanismos responsáveis pela remoção de partículas, o transporte, a aderência e o desprendimento, são complexos e influenciados pelas características físicas e químicas das partículas, presentes na água e no meio filtrante, da vazão de filtração, do método de operação dos filtros e das características estruturais dos acessórios internos dos equipamentos (Burt & Styles, 2007; Testezlaf, 2008; Mesquita, 2010). Os filtros de areia utilizados na irrigação possuem dois acessórios internos que auxiliam na hidrodinâmica de funcionamento do equipamento denominados, placa difusora e dreno ou sistema de drenagem. Segundo Mesquita *et al.* (2012), a função da placa difusora é de distribuir uniformemente o afluente sobre a superfície do meio filtrante, preparando-o para ser filtrado pela camada porosa, direcionando as linhas de fluxo do fluido perpendicularmente à superfície do leito, diminuindo a velocidade do escoamento da água, transformando-a em energia pressão. Já, o sistema de drenagem (drenos) é responsável por permitir a passagem do fluxo de água filtrada, impedindo a entrada de grãos de areia da camada filtrante para o sistema de irrigação, e também por distribuir uniformemente o fluxo reverso água, ascendente, no leito durante o processo de retrolavagem. Os autores ainda recomendam a adequação dos projetos estruturais desses componentes como forma de aprimorar os seus comportamentos hidrodinâmicos, visto que, o desempenho hidráulico de filtros de areia é função das características físicas de seu projeto estrutural, principalmente, do tipo de sistema de distribuição de efluente sobre a camada filtrante (placa difusora), e do sistema de coleta de afluente (drenos) sob o leito poroso. Burt (2010) reforça essa constatação indicando que diferentes drenos (área de passagem, formato geométrico, área efetiva e arranjo do sistema de drenagem) promovem distintos valores de perda de pressão. Arbat *et al.* (2011) salientam que as perdas de pressão causadas pelas estruturas internas de filtros de areia devem ser minimizadas, principalmente com a aplicação de critérios de projeto de engenharia no

desenvolvimento de novas propostas ou modificações dos equipamentos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes modelos de drenos no comportamento hidrodinâmico de filtros de areia e no perfil de distribuição das linhas de fluxo durante o escoamento descendente e ascendente, respectivamente, processos de filtração e retrolavagem empregando a técnica de fluidodinâmica computacional (CFD) para simular numericamente o perfil de distribuição das linhas de fluxo no sentido coincidente ao processo de filtração em um módulo experimental.

Material e Métodos

Nesse trabalho buscou-se identificar as principais interações do modelo estrutural dos drenos na formação do perfil de linhas de fluxo, durante os processos de escoamento, descendente e ascendente, respectivamente, coincidentes a operação de filtração e a retrolavagem em filtros de areia pressurizado. Dessa forma, utilizou-se a fluidodinâmica computacional para simular o perfil hidrodinâmico de dois modelos de drenos comercializados no Brasil, Figura 1. Esses modelos foram selecionados por que são mais comuns aos equipamentos encontrados em operação no campo pelos agricultores.

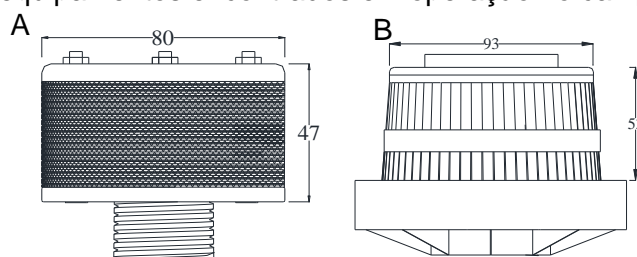


Figura 1: Modelos de drenos usados nos ensaios. ^[A] dreno cilíndrico, ^[B] dreno cônico. (Dimensões em mm).

Nas simulações buscou-se identificar a influência do dreno na uniformidade e no perfil de distribuição das linhas de fluxo, sobre o leito filtrante durante o escoamento no sentido ascendente e a formação de pontos de estagnação, sem efetividade hidráulica durante o escoamento do fluido, na superfície do dreno com o fluxo nos dois sentidos de escoamento. O módulo virtual, representação gráfica do equipamento físico, foi projetado com simplificações estruturais quando comparado ao modelo real, Figura 2^a. Essas modificações foram assumidas com o intuito de isolar o efeito causado especificamente pelo dreno e, conseqüentemente, isolar o efeito das interações de todo sistema de drenagem. Além disso, considerou-se no módulo virtual um leito filtrante de 20 cm de altura e diâmetro de 30 cm de largura. Salienta-se que, em função do sentido de escoamento do fluido, hora ascendente e descendente, o domínio entrada e saída também variava. Isto é, nos ensaios com o fluido na ascendente o domínio entrada era na região inferior do módulo virtual e vice versa.

A partir da geometria foram concebidas as malhas numéricas, ou seja, divisão do domínio em volumes de controle, nos quais será obtida a solução das equações propostas pelo modelo matemático selecionado durante o *setup* das simulações. As malhas foram construídas no formato não estruturado do tipo tetraédrica em todo o domínio. Salienta-se que a escolha desse modelo de malha se deu em função da dificuldade de gerar malhas estruturadas nos filtros de areia pela complexidade de detalhes do projeto estrutural do equipamento. Observa-se em detalhe da Figura 2B, que há um maior refinamento dos elementos no dreno em função das características e

dimensões reduzidas dos slots de passagem de água. Essa configuração de malha resultou em um número de aproximadamente $1,5 \times 10^6$ elementos. Contudo, foi realizado o teste de independência de malha, para isolar o efeito causado pela divisão dos volumes de controle na solução dos resultados numéricos.

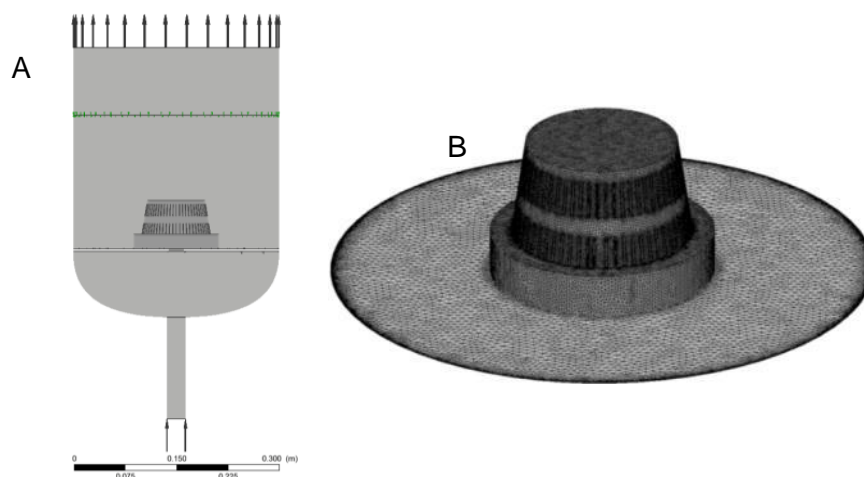


Figura 2: Geometrias desenvolvidas para serem utilizadas nas simulações. ^[A] Detalhe do módulo virtual, domínio de estudo. ^[B] Detalhe da divisão dos volumes de controle.

Atendendo às condições de operação do equipamento em campo, assumiu-se, na modelagem, fluxo permanente, constante, viscoso e newtoniano incompressível, sob condições isotérmicas a 25 °C, estabelecendo o emprego das equações de transporte, conservação de massa e de quantidade de movimento, e uma abordagem monofásica. O solver utilizado foi o CFX-ANSYS, parametrizado para interpolação de valores dupla precisão em alta resolução e em primeira ordem (High Resolution and First Order). As propriedades físicas do fluido, condições de contorno das simulações e os valores iniciais das variáveis estabelecidas para as seções específicas de ensaio, entradas, saída e parede, são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Propriedades físicas das condições de contorno e os respectivos valores iniciais utilizados nas simulações numéricas.

Superfície de contorno	Variável utilizada	Valor Simulado
Entrada	Velocidade prescrita	-
	Intensidade Turbulenta (i)	1%
Saída	Pressão prescrita	50 kPa (constante)
Parede	Superfície lisa e não deslizante	

Tabela 2: Especificações gerais do fluido e das condições numéricas utilizadas no pré-processamento das simulações.

Propriedades físicas do fluido		
Material	Água a 25° C	
Massa específica	997 kg m ⁻³	
Viscosidade dinâmica	1,003x10 ⁻³ Pa s	
Condições numéricas da simulação		
Critério de convergência	RMS (Root Mean Square)	1 x 10 ⁻⁴
Número de interação (N _i)	300≤ N _i ≤3000	
Balanco de massa	±5%	

Destaca-se que os valores de velocidade prescrita variaram em função do sentido de escoamento do fluido. Para o escoamento no sentido ascendente, coincidentes ao processo de retrolavagem, os valores adotados foram 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m s⁻¹, fazendo uma referencia aos empregados na prática. Contudo, nas simulações com o fluxo na descendente, coincidentes ao processo de filtração, os valores foram 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 e 0,25 m s⁻¹, uma simplificação adotada por considerar que o fluido escoar no interior do equipamento com uma velocidade menor que nas tubulações em função dos seus diâmetros, baseando no princípio da conservação de massa, determinou-se esses novos valores.

Como os filtros de areia funcionam sob condições de escoamento turbulento, e, dada a impossibilidade, neste caso, de obter resultado direto das equações de Navier-Stokes, os fenômenos turbulentos foram modelados com a abordagem RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), e utilizando o modelo de turbulência denominado k-ε. Adicionalmente foi acrescido outro termo matemático que considera o efeito da camada porosa do tipo de perda dinâmica (momentum loss) classificado como isotrópico e denominado por “Superficial Velocity Formulation”, Equações de 1 à 3. Este equacionamento considera um termo de perda causada pela viscosidade e outro pela inércia (ANSYS-CFX, 2009), e foi ajustado para uma porosidade da camada filtrante (ε_l) de 0,43 ou 43% e diâmetro efetivo do poro (d₁₀) de 0,51mm. Arbat *et al.* (2011) simulando filtros de areia e usando o código fonte do FLUENT, comprovaram a significância desse modelo matemático em representar o comportamento hidráulico da água durante o escoamento em meio poroso.

$$S_i = \left(\frac{\mu}{K_{Perm}} v_i + K_{Loss} \frac{1}{2} \rho |v| v_i \right) \text{ Para } i = x, y, z \quad (1)$$

$$K_{Perm} = \frac{d_{10}^2}{150} \frac{\varepsilon_l^3}{(1-\varepsilon_l)^2} \quad (2)$$

$$K_{Loss} = \frac{3,5}{d_{10}} \frac{(1-\varepsilon_l)}{\varepsilon_l^3} \quad (3)$$

Onde K_{Perm} e K_{Loss} são coeficientes de perdas por permeabilidade e resistência inercial, respectivamente, d_{10} diâmetro efetivo do poro (L), ε_l porosidade do meio, (v) velocidade de escoamento.

Para a análise dos resultados das simulações de caracterização do escoamento nos drenos foram plotados mapas de velocidade num corte xy do módulo virtual, destacando a região próxima ao acessório, possibilitando observar os campos de vetores nessa região.

Resultados e Discussão

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados das simulações numéricas, respectivamente, nos sentidos descendente e ascendente. Foram destacados os perfis de velocidade num corte xy do módulo virtual para três valores de velocidade.

A Figura 3 apresenta os mapas de velocidade no perfil do eixo xy para o escoamento no sentido coincidente ao processo de filtração, descendente, para as velocidades de

0,05, 0,15 e 0,25 m s⁻¹. Esses mapas destacam os campos de vetores de velocidade na dimensão em y, que caracterizam as linhas de correntes e a trajetória do escoamento do afluente no sentido descendente possibilitando observar a região efetiva de atuação de cada dreno e as áreas de contato dreno-camada filtrante.

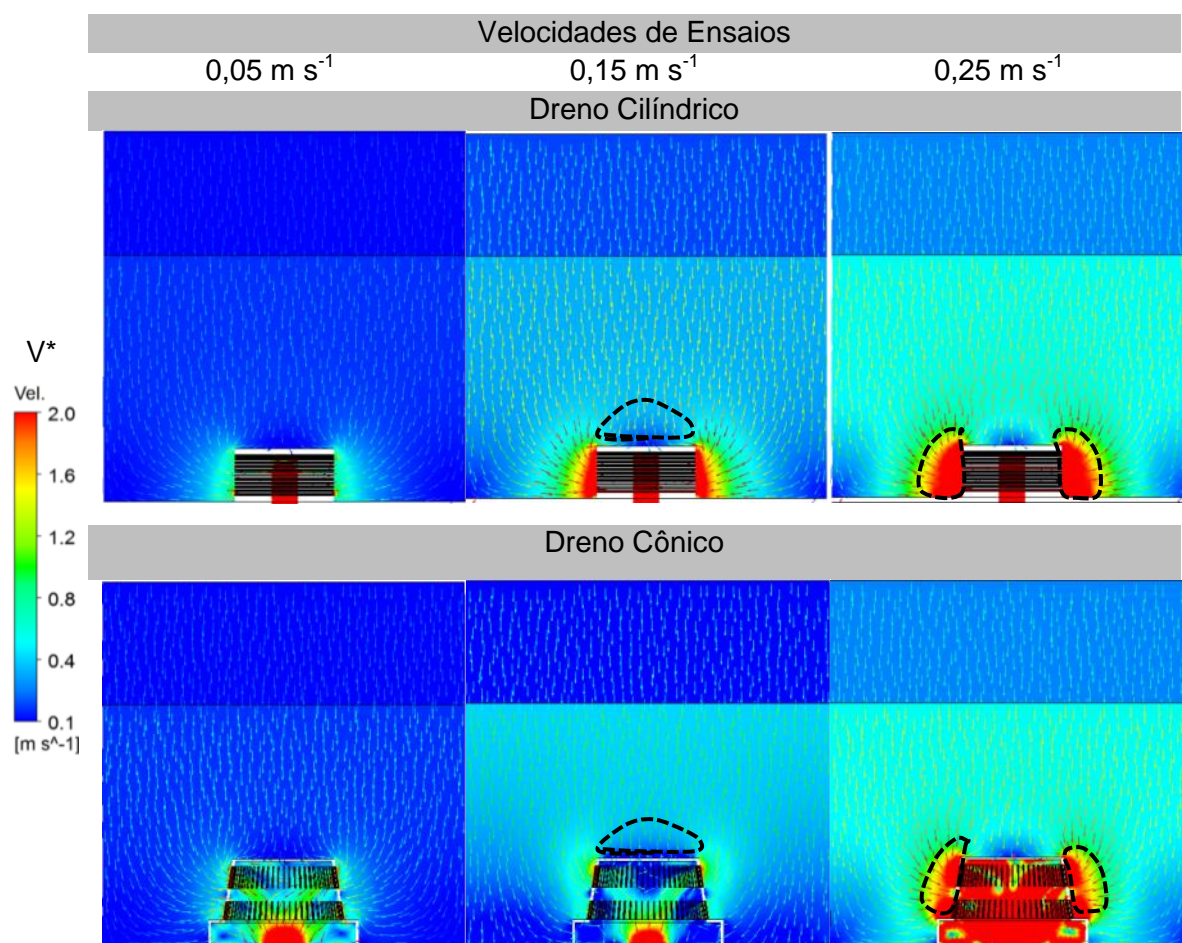


Figura3: Perfil de escoamento característico na região delimitada por um dreno com o fluxo descendente (filtragem) encontrado nas simulações para os modelos de drenos ensaiados. Onde: $[V^*]$ legenda dos valores de velocidade encontrados durante as simulações.

Ao avaliar o escoamento causado pelo dreno cilíndrico é possível observar que essa geometria proporcionou a formação de zonas de estagnação de escoamento, isto é, uma região onde não há um fluxo efetivo de escoamento, em destaque por linhas tracejadas na parte superior do dreno para a velocidade de 0,15 m s⁻¹. Esse mesmo comportamento foi observado por Santos *et al.* (2013) ao ensaiar esse modelo de crepina cilíndrica, utilizando túnel de vento como metodologia, e observaram que nessa mesma região havia um ponto que causava dispersão do fluido desviando a trajetória da fumaça para a região de contorno do dreno. Esse comportamento também foi observado nos drenos cônicos, devido às áreas sem saídas ou aberturas livres para o escoamento de fluido, nas partes superiores laterais. Os projetos desses dois modelos de dreno privilegiam o escoamento na parte lateral do dreno, excluindo a parte superior e reduzindo a área disponível ao fluxo de fluido.

Santos *et al.*, (2013), afirmam ainda que, esse efeito de dispersão das linhas de fluxo na parte superior dos drenos, pode proporcionar um aumento na perda de pressão no processo de filtragem, além de implicar na não uniformidade de escoamento ao longo

do corpo da crepina, tornando sua parte inferior a área preferencial ao fluxo e reduzindo a área de efetividade do acessório, destacada por linhas continuas na figura.

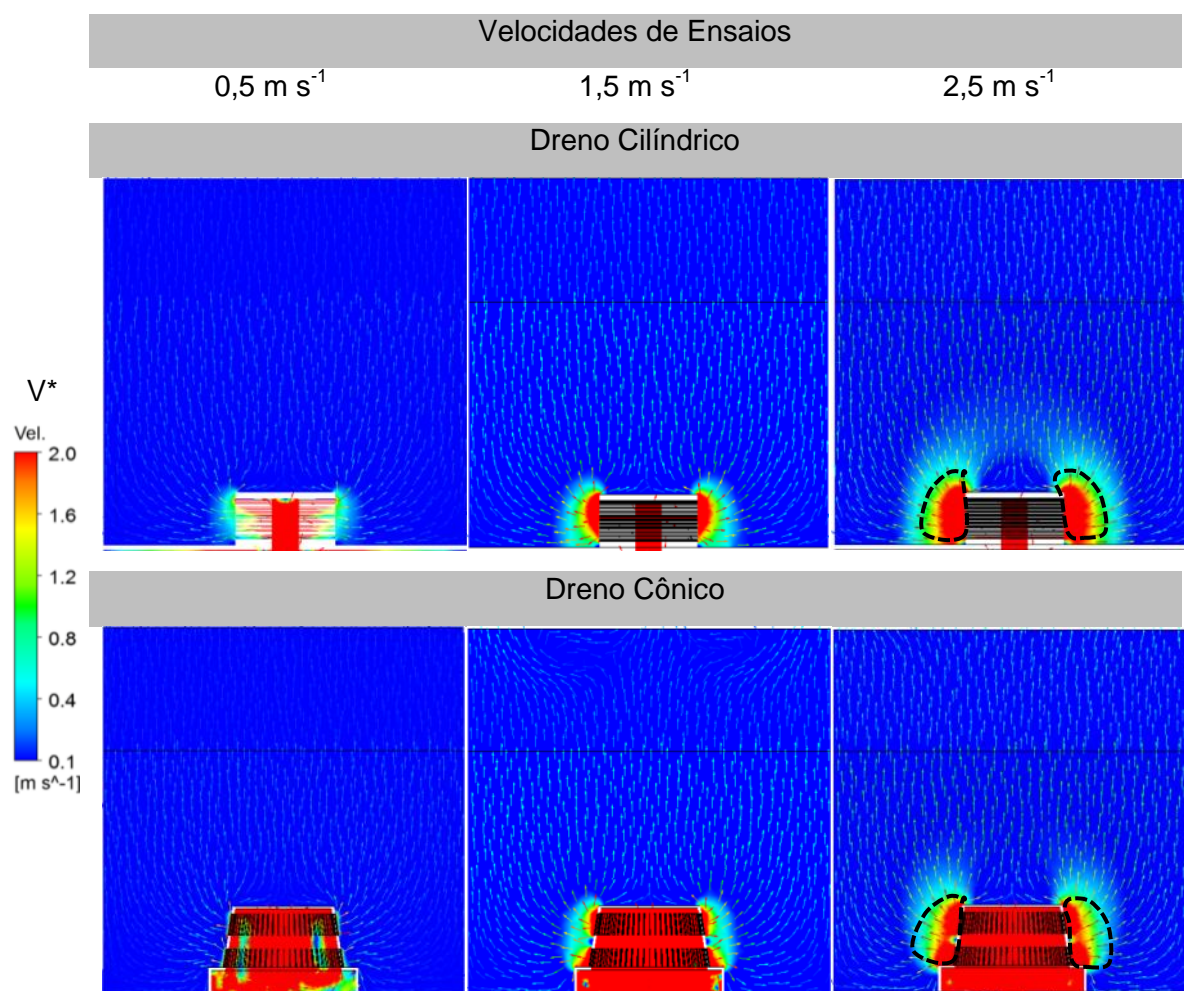


Figura 4: Perfil do escoamento característico na região delimitada por um dreno com o fluxo ascendente (retrolavagem) encontrado nas simulações para os modelos de drenos ensaiados. Nota: $[V^*]$ legenda dos valores de velocidade encontrados durante as simulações.

A Figura 4 apresenta os resultados das simulações do escoamento ascendente (retrolavagem) nos modelos de drenos cilíndrico e cônico. Pode se observar que, as características de escoamento são semelhantes, com formação de pontos de estagnação na parte superior dos drenos e de intensificação nas laterais do acessório, concordando com os resultados encontrados por Santos *et al.* (2013). Estes autores sugerem que esse comportamento implica em maior perda de pressão no sistema, devido ao caminho mais longo da trajetória das linhas, em contraste uma movimentação unicamente vertical destas linhas.

Salcedo (2010) sugere que essa disposição de linhas de fluxo possibilita maior remoção de impurezas aderidas aos grãos de areia, pois há atuação de maiores forças de cisalhamento durante o fluxo de água em torno das partículas e por um maior período de tempo. Por outro lado, Salcedo *et al.* (2011) indicam que esse comportamento das linhas de fluxo causam, para baixas velocidade, uma limitação no volume e na altura da camada filtrante revolvida. Os autores ainda destacam que, em contraste, o aumento do

valor da velocidade produz linhas de fluxo que tenderiam mais rapidamente à verticalização, o que pode gerar um arranjo desuniforme do material filtrante, devido aos processos que antecedem a fluidização do leito, como o estado de leito borbulhante, que pode ser transposto com maior rapidez.

Adicionalmente, é possível inferir que na projeção dessas zonas de estagnação não haverá um escoamento com velocidade significativa para proporcionar a movimentação efetiva do leito filtrante o que não causará a fluidização desse leito, permitindo a formação de agregados (acúmulos de misturas fortemente aderidas de impureza com material filtrante). Esse efeito propicia um aumento da pressão interna e redução da área efetiva de filtragem nos sucessivos ciclos após a retrolavagem e pode, consequentemente, reduzir a eficiência de remoção em função do acréscimo da velocidade intersticial entre os grãos de areia, o que irá transportar impurezas já aderidas a esses grãos de areia para o sistema de irrigação.

Conclusão

Os modelos estruturais dos drenos ensaiados, cilíndrico e cônico, distribuíram de forma irregular as linhas de fluxo de água sob o leito filtrante e apresentaram pontos de estagnação ao escoamento. O perfil de distribuição apresentado por esses drenos contribuem para a redução da área efetiva ao processo de drenagem durante o fluxo descendente e da fluidização do leito durante a retrolavagem da camada porosa. Contudo, a técnica de fluidodinâmica computacional (CFD) mostrou-se adequada para estudos sobre a hidrodinâmica de funcionamento de filtros de areia.

Agradecimentos

Ao Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria da Universidad Politécnica de Valencia–Valencia/Espanha, e ao Laboratório de Pesquisa em Processos Químicos e Gestão Empresarial (PQGe) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, por viabilizarem a infraestrutura necessária para as simulações computacionais. À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor para a realização da pesquisa. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás/FAPEG por conceder apoio financeiro que possibilitou a participação do primeiro autor no evento.

Referências Bibliográficas

ANSYS, INC. CFX-12 User's Guide, 2009.

Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., Montoro, L., Ramirez de Cartagena, F. Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. Transactions of the ASABE, v.54, n.4, 1367–1376, 2011.

Burt, C.M., Styles, S.W., 2007. Filtration (solids removal). In: Burt, C.M., Styles, S.W. (Eds.), Drip and Microirrigation Design and Management for Tress, Vines and Field Crops Practice Plus Theory. ITRC, BRAE and CalPoly, San Luis Obispo, California, p. 175–222.

- Burt, C. M. Hydraulics of commercial sand media filters tanks used for agricultural drip irrigation: criteria for energy efficiency. Irrigation Training and Research Center ITRC. Report N. R10-001 September 2010. Disponível em: www.itrc.org/reports/mediafilters.htm. Acesso em: Março de 2015.
- Mesquita, M. Efeito dos componentes hidráulicos e da granulometria e altura da camada filtrante na perda de carga em filtros de areia utilizados na irrigação localizada. 2010, 119f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- Mesquita, M.; Testezlaf, R.; Ramirez, J.C.S. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, v.115, p.178-185, 2012.
- Salcedo, J. C. R., Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia. 2010, 159 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- Salcedo, J.C.; Testezlaf, R.; Mesquita, M. Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.6, p.1226-1237, 2011.
- Santos, M. B., Mesquita, M., Testezlaf, R. Aplicação de túnel de vento na avaliação de linhas de fluxo geradas por crepinas de filtros de areia. *Engenharia Agrícola*, v.33, n.3, p. 548-559, 2013.
- Testezlaf, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. *Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

R11 – Influência dos fatores geométricos da placa difusora de filtros de areia sobre a deformação do leito filtrante

Mesquita, M.¹, Testezlaf, R.², Ponciano de Deus, F.³ y Machado da Rosa, L.⁴

1 Engº Agrícola, Doutor, Universidade Estadual de Goiás, Rua: Protestato Joaquim Bueno, N. 945, Santa Helena de Goiás-GO, CEP: 75.920-000, Brasil, e-mail: marciomes@gmail.com; 2 Engº Agrícola, Doutor, Universidade de Campinas, Campinas-SP, Brasil; e-mail: bob@feagri.unicamp.br; 3 Engº Agrícola, Doutor, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil, e-mail: fpdagricola@yahoo.com.br; 4 Engº Químico, Doutor, Universidade Caxias do Sul, Caxias do Sul-RS, Brasil, e-mail: lmrosa1@ucs.br.

Resumo

A placa difusora é um componente metálico, instalado internamente na entrada de filtros de areia, com a função de reduzir a velocidade de escoamento do afluente e distribuí-lo uniformemente sobre a superfície filtrante. A inadequação do seu projeto estrutural promove a distribuição desuniforme das linhas de fluxo e a deformação da superfície do leito filtrante, criando caminhos preferenciais de filtração e possibilitando o arraste de impurezas previamente retidas no filtro para o sistema de irrigação. O objetivo foi avaliar o efeito das linhas de fluxo característica de diferentes modelos de placa difusora comerciais no Brasil, sobre a superfície filtrante e compará-lo ao efeito apresentado por um modelo do acessório desenvolvido. Utilizou-se a fluidodinâmica computacional (CFD) para simular o perfil das linhas de fluxo no sentido descendente coincidente ao processo de filtração, para um módulo experimental configurado com quatro modelos de placas difusoras, sendo três comerciais no Brasil e um projetado cientificamente, para caracterizar a deformação superficial da camada filtrante procedeu-se o escaneamento manual em três dimensões. Os resultados mostraram que a distribuição de fluxo característica dos modelos comerciais causaram sobre o leito filtrante uma deformação acentuada na superfície porosa, com a movimentação de grãos de areia ocorrendo predominantemente, das regiões próximas à parede para o centro do corpo do equipamento com a criação de um cume na região central da superfície. Identificando a formação de vórtices acima dessa superfície. Esse comportamento foi intensificado proporcionalmente com o aumento da velocidade, justificados pelos vórtices formados e com maiores valores de velocidade tangencial. Observou-se também que a redução da altura entre a placa difusora e o leito filtrante propiciou um aumento no efeito da movimentação. No entanto, ao comparar os efeitos causados pelos acessórios comerciais ao projetado, observou-se a redução significativa da deformação do leito filtrante, consequentemente, não possibilitou a formação de vórtices sobre essa superfície.

Palavras-chaves: fluidodinâmica computacional, simulação numérica, filtração, camada porosa.

The influence of geometric factors of the difuser plate of sand filters on the porous media deformation

Abstract

The difuser plate is a metallic component internally installed in the inlet of sand filters in order to reduce the inflow pouring velocity and to distribute it uniformly over the porous media. The inadequacy of its structural project promotes an uneven flow lines distribution and the deformation of the filter bed surface, creating preferential filtering paths and possibiliting the dragging of previously retained impurities to the irrigation system. The objective was to evaluate the flow lines effect characteristic of different models of difuser plates commercialized in Brazil and compare it to a designed model effect developed on the filter surface. The Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to simulate the flow lines profile in the descendent direction coincident to the filtering process for an experimental module configured with four difuser plates models, three of them being commercialized in Brazil and one of them being scientifically projected in order to characterize the surface deformation of the porous media, a manual scanning in three dimensions was proceeded. The results has shown that the characteristic flow distribution of commercial models caused a high deformation on the porous surface over the filter bed, with the grains of sand movement happening, predominantly, on the regions near the wall to the equipment center with the creation of an edge on the central region of the surface identifying the vortex formation

above this surface. This behavior was proportionally intensified with the flow speed increase and justified by the formed vortex and with higher tangential velocity values. It was also observed that the height reduction between the difuser plate and the filter bed provided an increase in the effect of movement. However, when comparing the effects caused by commercial accessories to the projected one, a significant reduction in the filter bed was observed, thus not allowed to vortex formation on that surface.

Keywords: computational fluid dynamics, numerical simulation, filtering, porous media.

Introdução

O desenvolvimento da agricultura irrigada, impulsionada a atender à crescente demanda por alimentos e a necessidade de maximizar o uso eficiente nos diversos setores consumidores dos recursos hídricos, a irrigação localizada se mostra como uma tecnologia recomendada para atender esse cenário atual, possibilitando, concomitante, a aplicação de águas residuais, reuso de água. Contudo, para atingir esse potencial de operação e a adequada aplicação de água, esses sistemas utilizam emissores com diâmetros de saída reduzidos e, portanto, susceptíveis ao entupimento. Ravina *et al.* (1992) salientam que o uso de água de baixa qualidade com o consequente entupimento de emissores, vem desmotivando o uso da técnica pelos agricultores. Para Trooien & Hills (2007), a proteção dos emissores se faz comumente com o uso de filtros de tela, disco e areia, sendo o filtro de areia mais indicado para a remoção de impurezas da água em sistemas de irrigação localizada. Filtros de areia são equipamentos utilizados no tratamento físico da água de irrigação, que se destacam dos demais equipamentos de filtragem pela sua capacidade de remover impurezas, inorgânicas e orgânicas. Esses equipamentos utilizam uma ou mais camadas de materiais granulares como elemento filtrante, principalmente areia, pedregulhos e zeólitas, e são constituídos estruturalmente, de um tanque ou reservatório cilíndrico metálico e de dois elementos auxiliares internos, a placa difusora e os drenos, responsáveis por auxiliar a hidrodinâmica de escoamento do afluente durante os processos de filtragem e retrolavagem (Mesquita *et al.*, 2012, Burt & Styles, 2007 e Testezlaf, 2008). A função da placa difusora é de distribuir uniformemente o afluente sobre a superfície do meio filtrante, preparando-o para ser filtrado pela camada porosa, direcionando as linhas de fluxo do fluido perpendicularmente à superfície do leito, diminuindo a velocidade do escoamento da água, transformando-a em energia pressão, (Mesquita, 2010). No entanto, o mau dimensionamento e inadequações do projeto estrutural desse acessório causam o direcionamento incorreto do fluxo de entrada de água para as paredes do filtro, intensificando a turbulência do fluido sobre a superfície filtrante e promovendo o movimento das partículas de areia dessas regiões para o centro do leito (Ponciano de Deus *et al.*, 2013). A formação de superfícies irregulares da camada filtrante, com áreas menos espessas e de menor resistência, intensificará o escoamento de fluido nessas regiões (caminhos preferenciais) e irá, conseqüentemente, aumentar a velocidade intersticial, propiciando o arraste de impurezas, previamente retidas, para o sistema de irrigação. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito das linhas de fluxo característica de diferentes modelos de placa difusora comerciais no Brasil, sobre a superfície filtrante, e compara-lo ao efeito apresentado por um modelo de acessório desenvolvido, empregando a técnica de fluidodinâmica computacional (CFD) para simular numericamente o perfil de distribuição das linhas de fluxo no sentido coincidente ao processo de filtragem em um módulo experimental.

Materiais e Métodos

Para a caracterização da deformação do leito filtrante durante o escoamento descendente, coincidente ao processo de filtragem, a pesquisa foi dividida em duas etapas; 1ª) simulou-se numericamente o comportamento hidrodinâmico de um módulo experimental de filtro de desenvolvido por Mesquita (2010) identificando a formação de vórtices sobre a camada de areia, e 2ª) ensaios hidráulicos laboratoriais com escaneamento em 3D da camada superficial após o processo de escoamento de água.

Para aplicação da fluidodinâmica computacional (CFD) foram selecionados três modelos comerciais de placa difusora e um que foi desenvolvido por Mesquita (2014), cujas características e dimensões estão apresentadas na Figura 1. Os modelos de placa difusora foram denominados de A, B, C e D, assim como segue.

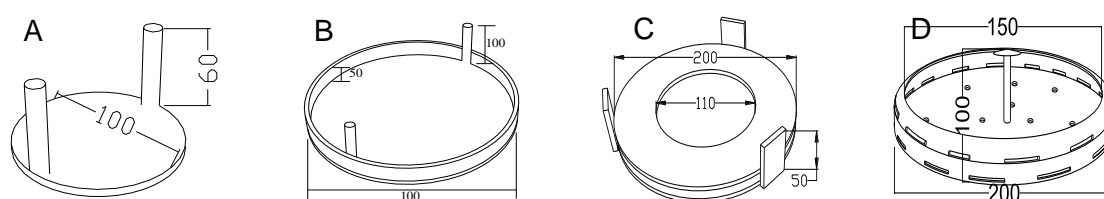


Figura 1: Desenho estrutural dos modelos de placa difusora usados nas simulações. [A] placa difusora plana sem borda lateral, [B] placa difusora plana com borda lateral, [C] placa difusora plana sem borda lateral e com anel superior, [D] modelo de placa difusora desenvolvida por Mesquita (2014). Nota: Dimensões em mm.

As simulações do comportamento hidrodinâmico interno foram realizadas no domínio de um módulo experimental de filtro de areia, configurado com leito filtrante de 60 cm de altura, modelado em 3D utilizando o software ICEM-CFD. E, a partir da geometria foi realizada divisão do domínio em volumes de controle no formato não-estruturado do tipo tetraédrica em todo o domínio, Figura 2.

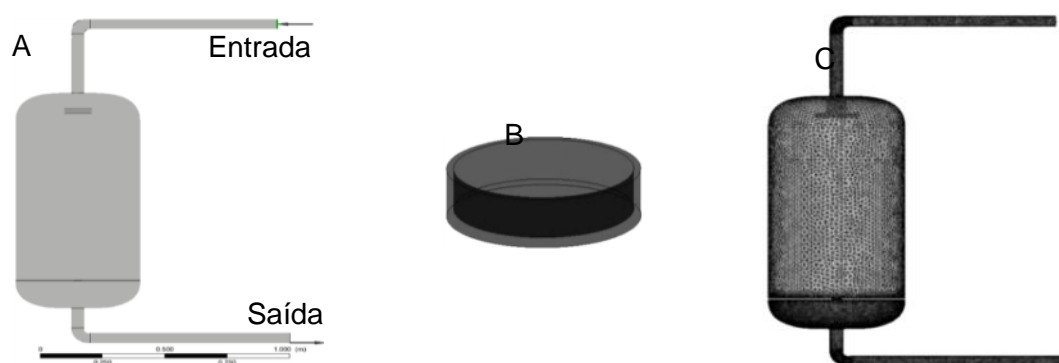


Figura 2: Geometrias desenvolvidas para serem utilizadas nas simulações. [A] Detalhe do módulo experimental e do domínio de estudo. [B] Exemplo de um dos modelos de placa difusora ensaiado. [C] Detalhe da divisão dos volumes de controle.

Atendendo às condições de operação do equipamento em campo, assumiu-se, na modelagem, fluxo permanente, constante, viscoso e newtoniano incompressível, sob condições isotérmicas a 25 °C, estabelecendo o emprego das equações de transporte, conservação de massa e de quantidade de movimento, e uma abordagem monofásica. O solver utilizado foi o CFX-ANSYS, parametrizado para interpolação de valores dupla precisão em alta resolução e em primeira ordem (High Resolution and First Order). As

propriedades físicas do fluido, condições de contorno das simulações e os valores iniciais das variáveis estabelecidas para as seções específicas de ensaio, entradas, saída e parede, são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Propriedades físicas das condições de contorno e os respectivos valores iniciais utilizados nas simulações numéricas.

Superfície de contorno	Variável utilizada	Valor Simulado
Entrada	Velocidade prescrita	0,5; 1,5 e 2,5 m s ⁻¹
	Intensidade Turbulenta (<i>i</i>)	1%
Saída	Pressão prescrita	200 kPa (constante)
Parede	Superfície lisa e não deslizante	

Tabela 2: Especificações gerais do fluido e das condições numéricas utilizadas no pré-processamento das simulações.

Propriedades físicas do fluido		
Material	Água a 25° C	
Massa específica	997 kg m ⁻³	
Viscosidade dinâmica	1,003x10 ⁻³ Pa s	
Condições numéricas da simulação		
Critério de convergência	RMS (Root Mean Square)	1 x 10 ⁻⁴
Número de interação (N _i)	300≤ N _i ≤3000	
Balanco de massa	±5%	

Como os filtros de areia funcionam sob condições de escoamento turbulento, e, dada a impossibilidade, neste caso, de obter resultado direto das equações de Navier-Stokes, fenômenos turbulentos foram modelados com a abordagem RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), utilizando o modelo de turbulência denominado k-ε. Adicionalmente foi acrescido outro termo matemático que considera o efeito da camada porosa do tipo de perda dinâmica (momentum loss) classificado como isotrópico e denominado por “Superficial Velocity Formulation”. Este equacionamento considera um termo de perda causada pela viscosidade e outro pela inércia (ANSYS-CFX, 2009), e foi ajustado para uma porosidade da camada filtrante (*ε*) de 0,43 ou 43% e diâmetro efetivo do poro (*d*₁₀) de 0,51mm. Arbat *et al.* (2011) simulando filtros de areia e usando o código fonte do FLUENT, comprovaram a significância desse modelo matemático em representar o comportamento hidráulico da água durante o escoamento em meio poroso.

Para analisar e interpretar os resultados das simulações foram criados dois planos de análise, um vertical, localizado no centro do equipamento no eixo xy, e outro horizontal, localizado na altura acima da referência da superfície da camada filtrante, que possibilitaram a construção dos mapas de velocidade resultantes do escoamento do fluido. Também foram obtidos gráficos de dispersão com os valores quantitativos de velocidade para duas profundidades (L1 e L2) localizadas a 10 e 20 cm a partir da base da placa difusora.

Para identificar os efeitos da geometria da placa difusora na deformação da superfície do leito filtrante durante o escoamento descendente, foram construídas réplicas dos modelos das placas difusoras simuladas numericamente e submetidas a ensaios laboratoriais no módulo experimental. O módulo experimental foi configurado para três velocidades de escoamento de água 0,5; 1,5 e 2,5 m s⁻¹, para um intervalo granulométrico de areia (0,5 a 1,0 mm) e duas espessuras de camada porosa, 45 e 35 cm. Essa espessura foi selecionada para possibilitar o espaçamento de 10 e 20 cm de distância da base da placa difusora.

Para cada condição de ensaio, o módulo era colocado em operação por 15 minutos, quando, após esse tempo, era aberto para o registro do perfil da superfície da areia, por meio de um escâner portátil marca HANDYSCAN 3D, modelo EXAscan, com resolução de 0,05 mm e precisão de até 0,04 mm. Foram realizadas três repetições dessa avaliação para cada uma das interações das variáveis de controle. O escaneamento da superfície da camada filtrante consistiu na captura da imagem da superfície após o seu mapeamento por tags refletoras, elementos responsáveis pelo georreferenciamento do scanner para o objeto. Uma vez capturadas, as imagens eram tratadas utilizando o software Rapidform XOR 3 64. Após o processo de tratamento das imagens foram traçadas quatro diagonais AB, CD, EF e GH, ligando os pontos situado em 0° a 180°; 45° a 225°, 90° a 270° e 135° a 315°, na secção circular da superfície do leito filtrante. Essas diagonais orientam a coleta de dados diferenciando a distância (cotas) entre os picos e/ou depressões, encontrados nas superfícies, com relação a um plano horizontal, definido a partir de um ponto de origem gerado pelo software durante a plotagem da superfície, possibilitando identificar as movimentações causadas pelas linhas de fluxo e vórtices gerados pelo modelo de placa difusora ensaiada. Essas cotas foram localizadas nas extremidades, no centro e na mediana de cada raio da diagonal em questão.

Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta os resultados das simulações numéricas para as condições apresentadas, caracterizando as linhas de fluxo durante o escoamento descendente para o módulo experimental virtual, configurado com leito filtrante para os quatros modelos de placa difusora identificados na Figura 1, e velocidade de ensaio a $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Observa-se na Figura 3, que os modelos de placa difusora, A e B, promoveram uma distribuição heterogênea da velocidade ao longo da superfície filtrante, direcionando as linhas de fluxo para as paredes do equipamento e gerando uma intensificação do módulo da velocidade nessas regiões, evidenciada pela linha tracejada em destaque no perfil para o modelo A. Esse perfil de direcionamento das linhas proporcionou a formação de vórtices abaixo e nos seus dois lados, bem como sobre a superfície porosa, como pode ser visualizados pelo perfil dos vetores de velocidade nos mapas verticais e nos gráficos de distribuição de velocidade ao longo do raio. Analisando, a distribuição nos gráficos de dispersão de velocidade na posição L1 é possível notar um comportamento radial, com uma região de redução de valores, com largura aproximada de 10 cm seguida de uma área com acréscimo de velocidade, entre 0,25 a 0,1 m à esquerda e a direita do centro. Entretanto, na posição L2 ocorreu uma inversão desse comportamento, com os valores de velocidade decrescendo, onde em L1 há um acréscimo. Este fenômeno caracteriza a formação de vórtices, escoamento giratório, com linhas de corrente apresentando um padrão circular ao redor de um centro de rotação, neste caso localizado entre L1 e L2 e a 15 cm de cada extremidade do equipamento. Ao avaliar o plano horizontal para a distância L2, verifica-se que existem três regiões com intensificações de velocidade, em destaque com linhas tracejadas para ensaio velocidade de $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Essas regiões são áreas ou pontos onde há movimentação de areia em razão dos vórtices formados durante o escoamento do fluido, obrigando as linhas de fluxo a tangenciar o leito filtrante. Pode-se observar a existência, no centro do equipamento de um ponto de menor velocidade, onde ocorre a deposição de partículas de areia movimentadas pelos vórtices. Esse comportamento foi comprovado, por Mesquita *et al.* (2012), que caracterizou filtros de areia com o mesmo

modelo de placa difusora e identificou que ha movimentação da camada de areia após o escoamento de água no equipamento, com o aparecimento de cumes de deposição de areia movimentada das regiões dos vórtices.

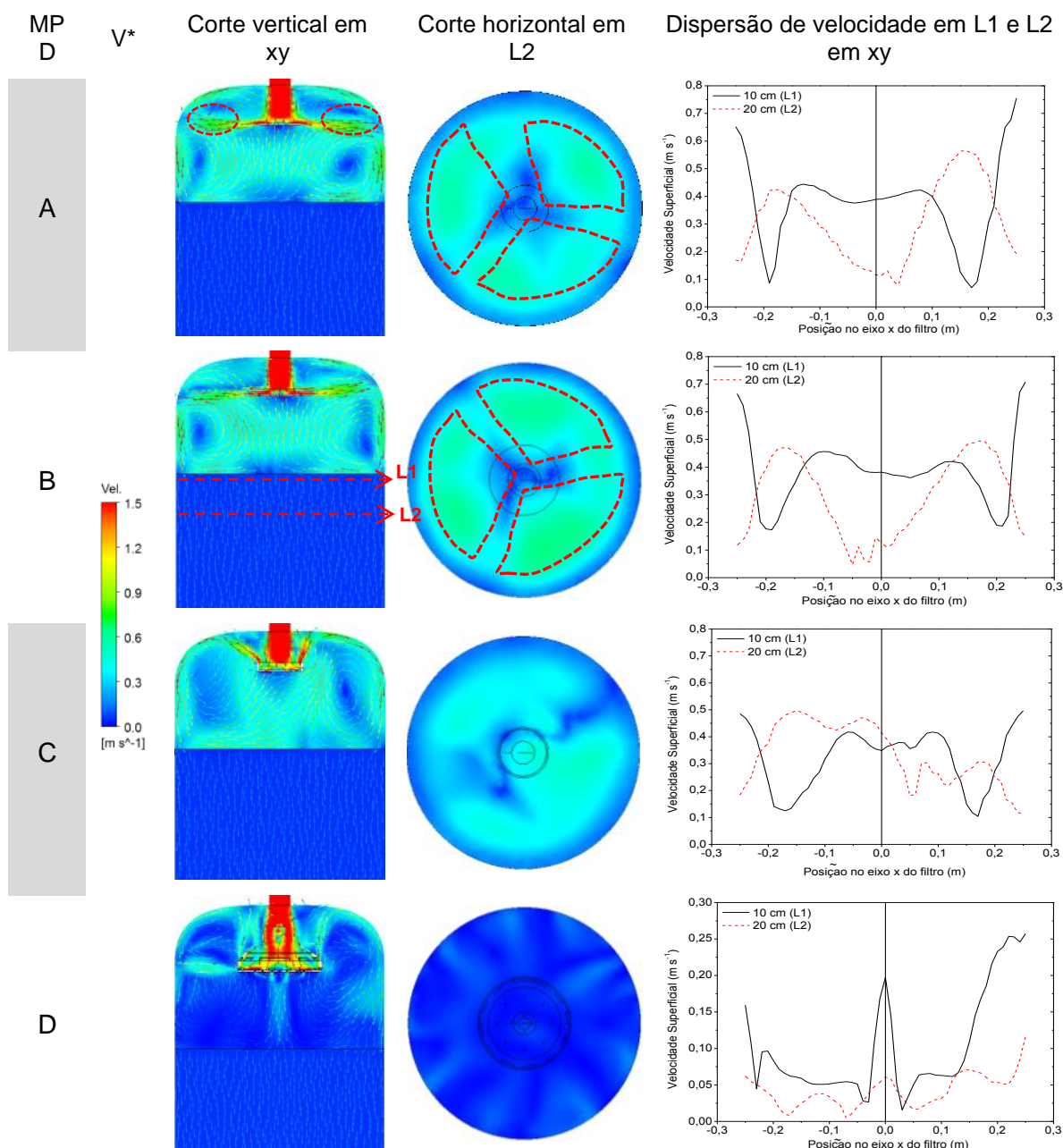


Figura 3: Perfis de velocidade e linhas de fluxo para escoamento característico no módulo experimental sem placa difusora com fluxo de água no sentido descendente. Nota: ^[MDP] modelo de placa difusora, ^[V*] legenda dos valores de velocidade resultantes da simulação numérica.

Pode-se observar que o perfil de distribuição das linhas de fluxo para o modelo C foi diferente do apresentado em A e B, o mesmo determinou a formação de linhas de fluxo predominantemente na direção da calota superior do filtro. A partir dessa região, o escoamento apresenta uma trajetória paralela às paredes do equipamento até a superfície do leito filtrante, formando vórtices sobre ela, e mostrando potencial em movimentar os grãos de areia nas direções predominantes ao fluxo. No entanto, destaca-se que a formação de vórtices ocorreu próxima e/ou acima de L1, diferentemente dos dois outros modelos ensaiados, possibilitando a redução da

intensidade de movimentação do elemento filtrante. Este efeito foi resultante da mudança da direção das linhas de fluxo que antes eram direcionadas diretamente para as paredes laterais do equipamento e, com o acréscimo das bordas laterais, foram projetadas para a calota superior do filtro, proporcionando uma maior trajetória, e, também, maior oportunidade de dissipação de energia cinética até a superfície filtrante. Ponciano de Deus *et al.* (2013) avaliando em laboratório o efeito da forma e dimensões desse modelo de placa difusora no comportamento hidráulico de filtros de areia, registraram a ocorrência da superfície deformada, resultante da interação do escoamento do fluido sob a interferência da placa difusora plana com bordas.

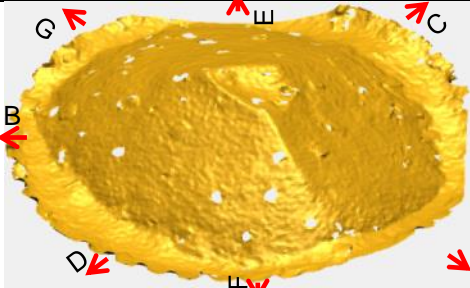
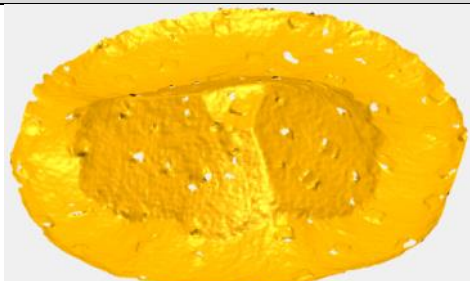
Avaliando os efeitos hidrodinâmicos causados pela placa difusora proposta por Mesquita (2014), observou-se, em comparação aos demais modelos estudados, que a interação das singularidades existentes nesse modelo possibilitou a redução da formação de vórtices no interior do filtro próximo à superfície do leito filtrante, e na diminuição, de aproximadamente 95%, da velocidade média, como pode ser observado pelos valores médios de velocidades resultantes no interior do equipamento apresentados pelos gráficos de dispersão. Esse efeito possibilitou maior dissipação da energia cinética.

Nota-se, analisando os gráficos de dispersão, que houve uma distribuição mais uniforme sobre o leito filtrante e que a placa difusora não direcionou as linhas de fluxo para as paredes do filtro. Contudo, analisando esses gráficos observa-se, ainda, que em L1, na região central, houve uma intensificação dos valores de velocidade em função dos orifícios na base plana da placa difusora, mostrando que esse elemento foi efetivo ao propósito de distribuir linhas de fluxo perpendicular a superfície do leito filtrante.

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados dos ensaios de deformação superficial para o módulo experimental instalado com as placas difusoras ensaiadas. Ao analisar os dados da Tabela 3, observa-se que o modelo A de placa difusora plana causou durante o escoamento de água no sentido descendente uma deformação acentuada na superfície filtrante, com a movimentação de grãos de areia ocorrendo predominantemente, das regiões próximas à parede para o centro do corpo do equipamento, comprovando a formação de vórtices acima dessa superfície, com a criação de um cone com aproximadamente 10 cm de altura, na região central da superfície. Esse comportamento foi intensificado proporcionalmente com o aumento da velocidade, como podemos observar o cume central maior para os resultados em $2,5 \text{ m s}^{-1}$ em relação aos demais ensaios, justificados pelos vórtices formados e com maiores valores de velocidade tangencial. Nota-se também que a redução da altura entre a placa difusora e o leito filtrante propiciou um aumento no efeito da movimentação. Esses resultados concordam com os resultados encontrados durante as simulações numéricas dessa placa difusora, e também com Mesquita *et al.* (2012) que identificaram e registraram, por fotografia, esse mesmo efeito para um equipamento comercial que utiliza esse modelo de placa difusora.

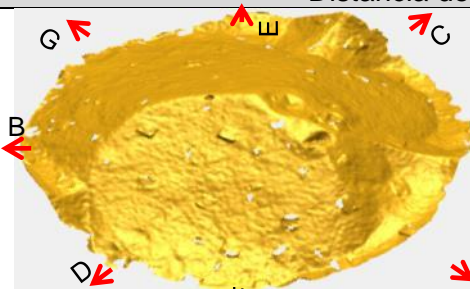
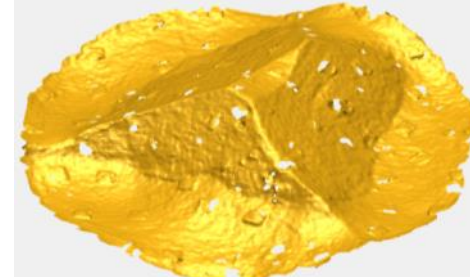
Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram correlação aos encontrados pelas simulações, e comprovando que a adição do anel superior não causou nenhum efeito positivo significativo, na interação entre placa difusora e superfície filtrante. Os efeitos foram semelhantes aos encontrados para o modelo A, com a deformação acentuada da superfície filtrante dada a movimentação dos elementos filtrantes.

Tabela 3: Análise da deformação superficial do leito filtrante resultante do escoamento de água no sentido descendente sob a interação da placa difusora plana sem borda, modelo A, e com o leito filtrante a 10 e 20 cm de distância do acessório para a velocidade de $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Superfície do leito filtrante	D*	Cotas (mm)				
		1	2	3	4	5
Distancia de 10 cm da placa difusora						
	AB	-15,0	+78,3	+114,3	+78,8	+13,4
	CD	-14,7	+78,7	+114,3	+78,4	+12,8
	EF	-15,1	+70,1	+114,3	+78,8	+13,1
	GH	-14,6	+79,0	+114,3	+78,3	+12,9
Distancia de 20 cm da placa difusora						
	AB	+6,4	+62,3	+94,5	+67,4	+19,5
	CD	+6,1	+62,7	+94,5	+67,6	+19,2
	EF	+5,9	+57,6	+94,5	+69,0	+18,7
	GH	+6,7	+56,8	+94,5	+68,5	+18,1

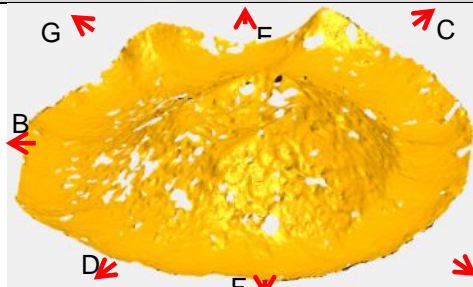
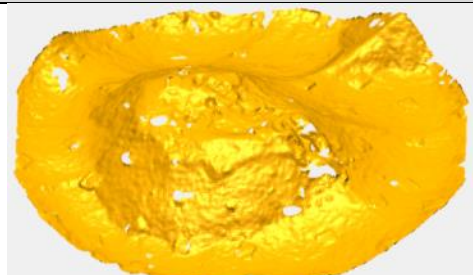
Nota: ^[D] diagonal direcionada na superfície do leito filtrante. Valores seguidos do símbolo de soma (+) caracteriza elevação acima do plano de referência e de subtração (-) abaixo desse plano.

Tabela 4: Modelo B, e com o leito filtrante a 10 e 20 cm de distância do acessório.

Superfície do leito filtrante		D*	Cotas (mm)				
			1	2	3	4	5
Distancia de 10 cm da placa difusora							
	AB	+25,1	+69,8	+111,2	+65,4	+27,6	
	CD	+12,1	+63,2	+111,2	+76,2	+31,3	
	EF	+17,1	+67,6	+111,2	+66,7	+23,4	
	GH	+6,1	+65,1	+111,2	+61,2	+18,2	
Distancia de 20 cm da placa difusora							
	AB	+18,0	+50,0	+95,0	+50,0	+5,0	
	CD	+17,0	+54,7	+95,0	+55,8	+4,8	
	EF	+8,2	+55,2	+95,0	+55,7	+2,2	
	GH	+15,2	+57,2	+95,0	+56,2	+6,5	



Nota: ^[D] diagonal direcionada na superfície do leito filtrante. Valores seguidos do símbolo de soma (+) caracteriza elevação acima do plano de referência e de subtração (-) abaixo desse plano.

Tabela 5: Modelo C, e com o leito filtrante a 10 e 20 cm de distância do acessório.

Superfície do leito filtrante	D*	Cotas (mm)				
		1	2	3	4	5
Distancia de 10 cm da placa difusora						
	AB	+15,0	+81,6	+67,5	+72,1	+16,0
	CD	+19,2	+81,2	+67,5	+71,6	+12,6
	EF	+14,6	+80,2	+67,5	+75,4	+11,6
	GH	+16,2	+62,7	+67,5	+76,1	+18,9
Distancia de 20 cm da placa difusora						
	AB	+5,4	+50,0	+60,1	+62,1	+1,2
	CD	+61,1	+42,3	+60,1	+56,2	+8,2
	EF	+8,9	+38,6	+60,1	+61,2	+11,2
	GH	+31,2	+46,3	+60,1	+58,6	+18,8

Nota: ^[D] diagonal direcionada na superfície do leito filtrante. Valores seguidos do símbolo de soma (+) caracteriza elevação acima do plano de referência e de subtração (-) abaixo desse plano.

Tabela 6: Modelo C, placa difusora projetada, e com o leito filtrante a 10 cm de distância do acessório.

Superfície do leito filtrante	D*	Cotas (mm)				
		1	2	3	4	5
Distancia de 10 cm da placa difusora						
	AB	-10,1	0,0	0,0	0,0	-5,0
	CD	-8,7	0,0	0,0	0,0	-5,9
	EF	-6,7	0,0	0,0	0,0	-6,2
	GH	-4,2	0,0	0,0	0,0	-3,6
Distancia de 20 cm da placa difusora						
	AB	+0,8	-0,4	0,0	-0,8	-0,4
	CD	-2,8	0,0	0,0	-1,6	-0,8
	EF	-0,5	0,0	0,0	-2,1	-1,0
	GH	-6,8	-2,2	0,0	-1,6	0,2

Nota: ^[D] diagonal direcionada na superfície do leito filtrante. Valores seguidos do símbolo de soma (+) caracteriza elevação acima do plano de referência e de subtração (-) abaixo desse plano.

Observa-se na Tabela 5 que houve há formação de uma depressão circular na superfície do leito filtrante, concentrada em um raio próximo do centro do módulo abaixo da projeção da placa difusora e a formação de uma elevação na região central do leito filtrante, evidenciando a movimentação das partículas de areia das paredes do filtro para a região central. Esse perfil foi visualizado nas simulações numéricas mostrando a formação desses vórtices e que os mesmos apresentaram-se mais deslocados da parede do filtro, em relação aos outros dois modelos de placa difusora ensaiados, podendo ser essa a razão da escavação concentrada próxima à região central. Esses efeitos concordam com os apresentados por Ponciano de Deus *et al.* (2013) que identificou a formação de depressões e elevações em ensaios realizados com o mesmo modelo de placa. Salienta-se que esse modelo de placa difusora plana com bordas reduziu a deformação do leito em comparação aos modelos sem bordas, como pode ser observado nos valores numéricos das cotas desses ensaios, mostrando o efeito positivo da adição da borda no sistema de difusão de água.

Analisando os resultados da Tabela 6 pode-se observar que a geometria e configuração da placa proposta praticamente não gerou movimentação significativa de material filtrante para as diferentes velocidades utilizadas e espessura do leito filtrante. Esse comportamento comprova os resultados obtidos nas simulações numéricas, que mostraram que esse modelo de placa difusora reduziu a formação de vórtices sobre a superfície do leito filtrante e distribui homogeneamente o fluido sobre o leito filtrante.

Conclusão

A técnica de fluidodinâmica computacional (CFD) mostrou-se adequada para estudos sobre a dinâmica de funcionamento do equipamento, permitindo diferenciar e quantificar o comportamento das estruturas internas em função da geometria desses elementos.

O modelo de placa difusora proposta reduziu os efeitos hidrodinâmicos causados pela interação entre equipamento e escoamento de água em filtros de areia pressurizados, reduzindo significativamente a energia cinética e a movimentação do leito filtrante.

Agradecimentos

Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria da Universidad Politécnica de Valencia–Valencia/Espanha, e ao Laboratório de Pesquisa em Processos Químicos e Gestão Empresarial (PQGe) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, por viabilizarem a infraestrutura necessária para as simulações computacionais. À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor para a realização da pesquisa. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás/FAPEG por conceder apoio financeiro que possibilitou a participação do primeiro autor no evento.

Referencias Bibliográficas

- ANSYS, INC. CFX-12 User's Guide, 2009.
- Arbat, G., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., Montoro, L., Ramirez DE Cartagena, F. Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. Transactions of the ASABE, v.54, n.4, 1367–1376, 2011.

- Burt, C.M., Styles, S.W., 2007. Filtration (solids removal). In: Burt, C.M., Styles, S.W. (Eds.), *Drip and Microirrigation Design and Management for Tress, Vines and Field Crops Practice Plus Theory*. ITRC, BRAE and CalPoly, San Luis Obispo, California, p. 175–222.
- Mesquita, Marcio. Efeito dos componentes hidráulicos e da granulometria e altura da camada filtrante na perda de carga em filtros de areia utilizados na irrigação localizada. 2010, 119f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- Mesquita, M.; Testezlaf, R.; Ramirez, J.C.S. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. *Agricultural Water Management*, v.115, p.178-185, 2012.
- Mesquita, Marcio. Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada 2014, 119f. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- Ponciano de Deus, F., Testezlaf, R. Mesquita, M. Efeito das dimensões da placa difusora no comportamento hidráulico de um modelo comercial de filtro de areia. *Eng. Agríc.*, v.33, n.3, p 560-568, 2013.
- Testezlaf, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. *Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.
- Ravina, I.; Paz, E.; Sofer, Z.; Marcu, A.; Schischa, A.; Sagi, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. *Irrigation Science*, v. 13, p. 129 - 139, 1992.
- Trooiën, T.P., Hills, D.J. Application of biological effluent. In: Lamm, F.R., Ayars, J.E., Nakayama, F.S. (Eds.), *Microirrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*. Elsevier, Amsterdam, pp. 329–356, 2007.

R12 - Análisis de la influencia de las condiciones de operación en la pérdida de rendimiento de bombas sumergibles en sondeos.

Rocamora, C.¹, Abadía, R.¹, Rabasa, A.², Pérez, A.³, Ortiz, M.⁴, Mora, M.¹

¹ Universidad Miguel Hernández, Departamento de Ingeniería. Ctra. de Beniel km 3,2 - 03001 Orihuela, e-mail: rocamora@umh.es; abadía@umh.es; miguelmoragomez@gmail.com. ² Universidad Miguel Hernández, Centro de Investigación Operativa, Avda. de la Universidad s/n, 03202 Elche; a.rabasa@umh.es; ³ Universidad Miguel Hernández, Departamento de Estudios Económicos y Financieros, Avda. de la Universidad s/n, 03202 Elche; agustin.perez@umh.es. ⁴ FACSA, c/Mayor, 82-84 - 12001 Castellón, mortiz@facsa.com.

Resumen

En España las aguas subterráneas representan el 20% del agua de riego; abastecen al 28% de la superficie regada y son responsables del 38% de la producción agrícola. La modernización y optimización de los sistemas de riego llevadas a cabo en los últimos años han provocado un aumento del consumo de energía en regadío, lo que ha llevado a prestar más atención a la eficiencia energética en bombeos. Las condiciones iniciales de funcionamiento de las bombas no son constantes a lo largo de su vida útil. Además, el descenso de nivel piezométrico en sondeos es un hecho inevitable que produce pérdidas de rendimiento hidráulico de las bombas, lo que unido a su deterioro gradual puede dar lugar a pérdidas de eficiencia de entre el 5 y el 20% en los primeros años de funcionamiento de la bomba. La predicción de la pérdida de rendimiento es necesaria para determinar el momento óptimo de mantenimiento que minimice los costes de operación. Los principales factores que causan desgaste de las bombas y descenso de su eficiencia son abrasión por partículas en suspensión, corrosión por alta salinidad e incrustaciones por depósitos de material dentro de la bomba. En la pérdida de eficiencia con el tiempo influyen las condiciones de operación como altura manométrica, caudal elevado, calidad del agua, número de arranques y paradas, horas de funcionamiento, etc. Se han monitorizado ocho sondeos a lo largo de tres años, con objeto de determinar la influencia de las condiciones de trabajo en la pérdida de rendimiento de los grupos de bombeo. Debido al gran número de datos registrados, para determinar las variables que más influyen en el descenso del rendimiento se han utilizado técnicas de minería de datos para pre-procesar la información y diseñar los modelos de regresión que permitan cuantificar la influencia de distintos atributos en la variable objetivo. En uno de los pozos se ha hallado una fuerte correlación entre las horas de trabajo y la eficiencia energética. En el resto de pozos se han encontrado correlaciones entre la eficiencia energética y las variables independientes analizadas, pero sin un patrón común que permita establecer el modelo de predicción de la pérdida de eficiencia.

Palabras clave: agua subterránea, pérdida de eficiencia, modelos de regresión, minería de datos

Analysis of the influence of operating conditions on the decrease in energy efficiency in deep well submersible pumps.

Abstract

In Spain, groundwater provides 20% of the total irrigation water and covers 28% of the irrigation area, being responsible for 38% of total agricultural production. Modernization and optimization of irrigation systems carried out in recent years has increased the energy consumption of the sector, therefore more attention is now paid to the energy efficiency of well pumping systems. The initial working conditions of the pumps are not constant throughout their lifetime. Besides, the depletion of water table in wells is an unavoidable fact that produces losses through the hydraulic performance of pumps, which together with its gradual deterioration may result in loss of efficiency between 5 and 20% in the first years of a pump's working life. Preventive maintenance mitigates losses of efficiency and prevents failures. Forecasting the loss of efficiency will help in determining the optimum moment for maintenance to minimize operation costs. Abrasion by suspended particles in the water, corrosion by high salinity and inlaid due to material deposited inside the pump are the main factors that cause pump wear and loss of efficiency. Therefore, efficiency losses with time are influenced by operating conditions that include pumping head,

pumping flow, water quality, number of starts and stops, hours of operation, etc. Eight well pumping systems have been monitored over a 3 year period, with the aim of determining the influence of each operating condition on the loss of energy efficiency. Due to the large amount of data collected, to determine the most influential variables on the loss of energy efficiency, data mining techniques have been applied for information pre-processing and the subsequent design of regression models in order to quantify the influence of different data base attributes on the target variable. A strong correlation between working hours and pump efficiency has been found in one well. In the rest of wells, correlations have been established among pump efficiency and different independent variables, but a common pattern has not been found which would allow to predict the loss of efficiency.

Keywords: groundwater, efficiency loss, regression models, data mining

Introducción

Las aguas subterráneas constituyen uno de los más importantes recursos hídricos en muchos países del mundo desde que se desarrolló la tecnología de extracción en el último tercio del siglo XX. En países como Dinamarca, Malta y Arabia Saudí el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento. En otros países es el principal recurso hídrico, con porcentajes respecto al total del 95% en Túnez, 83% en Bélgica, y por encima del 70% en la mayor parte de los países de Europa (Zektser y Everett, 2004).

Las aguas subterráneas se usan tanto para abastecimiento urbano como para usos industriales y agrícolas. En el contexto de agricultura de regadío, el agua subterránea representa el 42,7% del total de agua destinada a riego a escala mundial y riega el 37,5% de la superficie regada (Siebert *et al.*, 2010). En España las aguas subterráneas aportan el 20% del agua de riego cubriendo el 28% de la superficie regada y son responsables del 38% de la producción agrícola (MARM, 2002).

La modernización de los sistemas de riego llevada a cabo durante las últimas décadas en países áridos y semiáridos, en los que las aguas subterráneas son el principal si no el único recurso, ha significado un aumento en el consumo de energía del sector, lo que ha llevado a prestar más atención a la eficiencia energética en sistemas de bombeo para mantener el consumo de energía en unos niveles aceptables.

Las condiciones de funcionamiento de los bombeos no se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Variaciones en el nivel dinámico hacen que la bomba trabaje lejos de su punto de funcionamiento óptimo, lo que provoca recirculación del agua, con el consiguiente desequilibrio de fuerzas, desviación del eje y mayor desgaste de juntas, anillos y rodamientos. En ausencia de estas variaciones, las bombas también sufren desgaste y deterioro gradual incluso trabajando el punto de funcionamiento. Las pérdidas de eficiencia pueden llegar a alcanzar entre el 5 y el 20% en los primeros años de trabajo de las bombas (Reeves, 1960; Fleming, 1989) (Figura 1). Causas de este desgaste son la abrasión por partículas en suspensión, corrosión por alta salinidad e incrustaciones por depósitos de material dentro de la bomba. Sin mantenimiento, una bomba puede perder entre el 10 y el 15% de su eficiencia inicial (Comisión Europea, 2001).

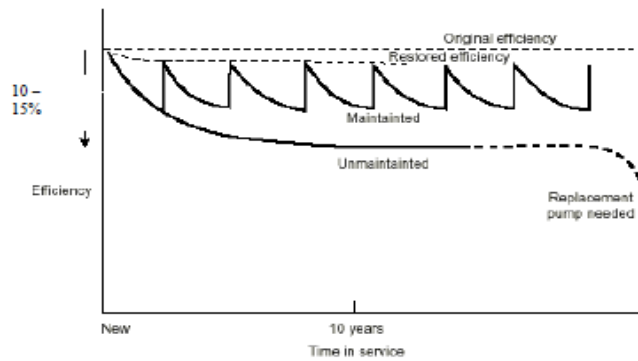


Figura 1. Pérdida de rendimiento de los bombeos respecto al tiempo de funcionamiento
(Comisión Europea, 2001)

En consecuencia, la pérdida de rendimiento a lo largo del tiempo está afectada por las condiciones de operación de las bombas, que incluyen factores como la altura manométrica, el caudal elevado, la calidad del agua, el número de paradas y arranques y las horas de funcionamiento.

El mantenimiento preventivo puede mitigar las pérdidas de eficiencia y prevenir averías. Sin embargo, la extracción de las bombas resulta cara en el caso de pozos profundos. Por eso es importante poder determinar el momento óptimo para realizar el mantenimiento, que minimice los costes de operación de los bombeos (Mora *et al.*, 2013; Mora, 2015). Un modelo de pérdida de eficiencia en función de las condiciones de operación permitiría establecer un calendario de mantenimiento que resultara en los costes mínimos de explotación. Este trabajo se enmarca en un proyecto en el que se pretende establecer el modelo de pérdida de eficiencia.

Se han monitorizado los bombeos de ocho pozos profundos para analizar la evolución de la eficiencia energética y de las condiciones de operación a lo largo de un período de tres años, con el fin de determinar la influencia de las condiciones de trabajo en el descenso del rendimiento.

Debido al gran número de datos registrados, para determinar las variables que más influyen en el descenso del rendimiento se han utilizado técnicas de minería de datos para pre-procesar la información y diseñar los modelos de regresión que permitan cuantificar la influencia de distintos atributos en la variable objetivo.

Material y Métodos

Las variables cuya influencia en la pérdida de rendimiento se ha estudiado son la calidad del agua, el número de horas de funcionamiento y arranques acumulados de los equipos de bombeo y los parámetros hidráulicos y eléctricos de funcionamiento de las instalaciones. Dos variables que se consideran a priori significativas en la pérdida de rendimiento son las horas de funcionamiento y el número de arranques desde la instalación y puesta en operación del grupo.

Ocho bombeos de pozos profundos se han monitorizado a lo largo de tres años (2011, 2012 y 2013). Los parámetros indicados en la Tabla 1 se han registrado cada 15 minutos.

Existen otros parámetros fijos de cada pozo que también intervienen en las variables resultado: la profundidad del sondeo y el diámetro y material de la tubería de impulsión.

Tabla 1. Parámetros registrados

Símbolo	Nombre	Unidad
	Marcha/paro	-
Work.H	Horas de funcionamiento acumuladas	Horas
Starts	Nº de arranques	Unidades
Hz	Frecuencia*	Hz
Flow	Caudal	m ³ /h
Hg	Nivel dinámico	m
Ps	Presión en el brocal del pozo	bar
Na	Potencia eléctrica	kW
fp	Factor de potencia	-
I	Intensidad de corriente	A
V	Voltaje de línea	V
T	Temperatura	°C

*Seis de los ocho motores están accionados por variadores de velocidad

La potencia eléctrica absorbida por el motor se registra directamente o bien se obtiene a partir de los restantes parámetros eléctricos registrados: intensidad de corriente, voltaje de línea y factor de potencia. Todos los datos registrados durante un año en un pozo se recogen en una hoja de cálculo en la que cada fila contiene el valor medio de la variable en un período de 15 minutos. Las variables dependientes se calculan para cada fila.

En el estudio de la evolución de la eficiencia energética se ha obtenido para cada uno de los registros el valor de las variables que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables analizadas

Símbolo	Nombre	Unidad	Obtención
Work.H	Horas de funcionamiento acumuladas	Horas	Directa
Starts	Nº de arranques	Unidades	Directa
Hz	Frecuencia	Hz	Directa
Flow	Caudal real	m ³ /h	Directa
Head	Altura manométrica suministrada por el bombeo	mca	Calculada
EE	Eficiencia energética		Calculada
Cesp	Consumo específico	kWh/m ³	Calculada
Cesp.m	Consumo específico por metro de altura de elevación	kWh/m ³ /mca	Calculada
Year			Directa
Month			Directa
Day			Directa
Time			Directa

La altura manométrica suministrada por la bomba se obtiene mediante la Ecuación 1, donde Hg es la altura geométrica de la impulsión (m), correspondiente a la distancia

desde la lámina de agua del nivel dinámico hasta la boca del sondeo; P_s/γ es la presión en el brocal del sondeo (m) y h_i es la pérdida de carga en la tubería de impulsión, estimada mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, considerando una rugosidad absoluta de la tubería de 0,1 mm.

$$Head = H_g + \frac{P_s}{\gamma} + h_i \quad (1)$$

La potencia hidráulica transmitida al agua se obtiene mediante la Ecuación 2, donde g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m s}^{-2}$), Q es el caudal impulsado ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$), $Head$ es la altura manométrica (m) y ρ es la densidad del agua (1000 kg m^{-3}).

$$N_s = g \cdot \rho \cdot Q \cdot Head \quad (2)$$

La eficiencia energética es el cociente entre la potencia hidráulica transmitida al agua (N_s) y la potencia eléctrica absorbida por el motor (N_a), expresado en tanto por ciento (Ecuación 3).

$$EE = \frac{N_s}{N_a} \cdot 100 \quad (3)$$

El consumo específico se define como la energía requerida para extraer un metro cúbico y se mide en kWh m^{-3} (Ecuación 4). El consumo específico por metro de altura de impulsión mide la energía requerida para elevar un metro cúbico una altura de un metro (kWh m^{-4}) (Ecuación 5).

$$Cesp = \frac{N_a/1000}{Q} \quad (4)$$

$$Cesp.m = \frac{N_a/1000}{Q \cdot Head} \quad (5)$$

Se han tomado como variables objetivo la eficiencia energética (EE) y el consumo específico (Cesp). Se ha obtenido también el consumo específico por metro de altura de elevación (Cesp.m), aunque posteriormente se ha descartado por ser combinación de dos variables.

Pre-procesamiento de los datos de entrada originales

Debido a que los datos de entrada son fruto de la integración de diversas fuentes y que han sido recogidos a partir de sistemas telemétricos, es lógico suponer que la muestra pueda contener algunos errores. Por ello, antes de elaborar los correspondientes modelos regresivos, es necesario someter los datos a una etapa de pre-procesamiento (Chen, 2001; Berry y Linoff, 2000), en la que es habitual encargarse de la búsqueda de valores incompletos o perdidos, inconsistencias entre los datos y valores anómalos (outliers). El pre-procesamiento también proporciona información descriptiva sobre el conjunto de datos a analizar mostrando las distribuciones de las variables numéricas y extrayendo las inicialmente mejor correlacionadas con la variable objetivo. Todo ello resultará especialmente útil a la hora de parametrizar e interpretar los modelos analíticos de regresión que se propondrán seguidamente.

Concretamente, sobre los datos de entrada proporcionados, las acciones implementadas consisten en eliminar atributos de valor constante, elegir el atributo EE_r

(Eficiencia Energética real) como variable de clase y discretizar la variable de clase (según la distribución de datos obtenida). De momento, este atributo discretizado se usará sólo como dato orientativo en algunos procesos.

Como resultado de dichas acciones y otras menores sobre inconsistencia de los datos y valores, se genera el correspondiente archivo con formato WEKA, programa de Minería de Datos (WEKA, 2015) que se ha empleado para generar la siguiente información descriptiva sobre las distribuciones de valores de las diferentes variables intervinientes, tal y como se recoge en la Figura 2.

A continuación, se utiliza WEKA para generar un modelo de extracción de características más relevantes, que encuentra las mejores correlaciones individuales (sólamamente) de cada variable con la variable objetivo EE_r, discretizada en intervalos.

Para ello se lanza un proceso de selección de características, utilizando “Principal Components” como parámetro evaluador del método “Ranker” como método de búsqueda y se instancia el modelo para que actúe sobre la muestra completa de entrada. Esto resultará especialmente interesante como punto de partida en la introducción de las variables más relevantes en el análisis multivariante de los datos.

Análisis Estadístico Multivariante: Generación de árboles de regresión

Previo a la elección del análisis multivariante a realizar e incorporados los nuevos datos de la sección anterior, se ha procedido al examen de cada variable para, según sus características, establecer cuál es el método más adecuado. En un examen descriptivo de cada una de las variables a estudio y en su relación con la variable EE se ha constatado un comportamiento no lineal de esta y una falta de normalidad. Esto lleva a que no sea adecuado realizar ningún tipo de análisis clásico basado en hipótesis de normalidad y linealidad. La elección más adecuada es el análisis multivariante de los datos mediante árboles de regresión de la familia CART.

Para cada uno de los sondeos analizados se ha calculado una matriz de correlaciones entre todas las variables examinadas, un histograma de frecuencias, y el árbol de regresión (CART: classification and regression tree) (Quinlan, 1987) óptimo para el estudio de la variable EE frente al resto de variables. La selección del árbol de decisión óptimo se ha realizado mediante el algoritmo “random forest” (Breiman, 2001). Este procedimiento consiste en la selección de un gran número de árboles para diferentes subconjuntos de la muestra basados en combinaciones aleatorias de variables explicativas. En cada uno de estos árboles se seleccionan las variables que más influyen en la variable objetivo de estudio. Como resultado final se devuelve un único árbol de decisión, común a todos ellos, que minimiza los errores de predicción. Se ha validado el modelo mediante validación cruzada (cross validation).

En el análisis estadístico para la generación de árboles de regresión y el resto de exámenes descriptivos, se ha empleado el paquete estadístico R, v3.1.2. (R Core Team, 2014)

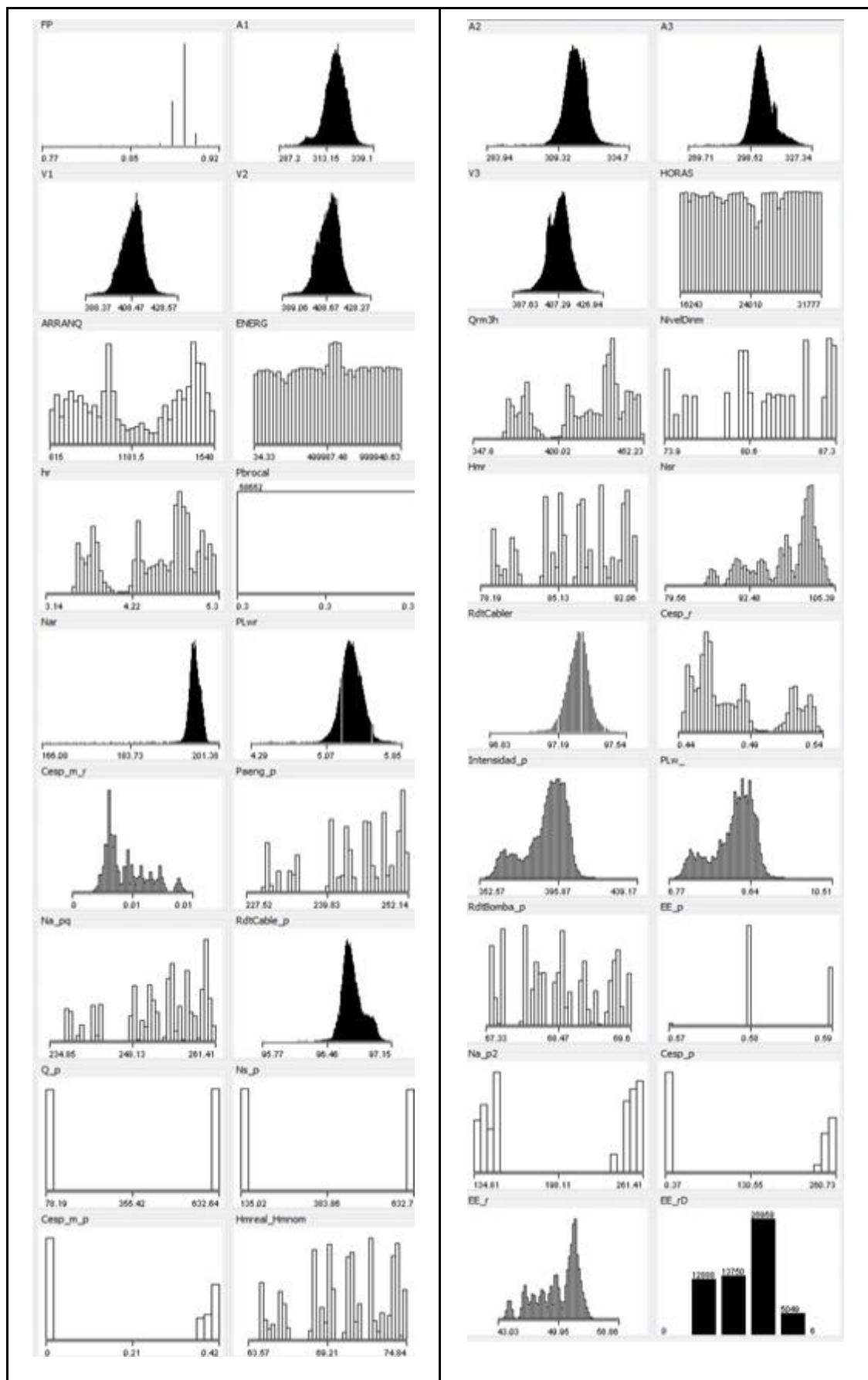


Figura 2. Distribuciones de valores de las variables del problema.

Resultados

Evolución de la eficiencia energética

La eficiencia energética viene determinada por parámetros como el caudal elevado y la altura manométrica suministrada en cada instante, pero estudiada a lo largo de un período largo suele apreciarse un descenso paulatino con algunos repuntes cuando se realiza un mantenimiento. Sin embargo, únicamente en el bombeo del Pozo 1 (Figura 3a) se observa una tendencia descendente. En los pozos 2 y 8 (figuras 3b y 3h), los valores de la eficiencia energética son mayores al final del período de estudio que al inicio, a pesar de no haberse efectuado ninguna labor de mantenimiento preventivo en el periodo analizado. En el Pozo 7 (Figura 3g), salvo valores puntuales muy bajos la eficiencia energética se mantiene constante. En el resto de pozos (figuras 3c, 3d, 3e y 3f) existe gran dispersión de los valores de eficiencia energética, no observándose ninguna tendencia clara.

En los ocho pozos analizados, a excepción del Pozo 1, no se ha observado correlación entre las horas de funcionamiento y la eficiencia energética, como corrobora el estudio estadístico.

Evolución del consumo específico

El consumo específico es un indicador fiable del rendimiento de los bombeos, y sus variaciones se correlacionan de forma negativa con las variaciones en la eficiencia energética. De forma análoga a lo observado en cuanto a la eficiencia energética, en el estudio de la evolución del consumo específico no se observa una tendencia clara al aumento del consumo específico con el aumento de horas acumuladas de funcionamiento y el consiguiente desgaste de los elementos mecánicos de las bombas, excepto en el Pozo 1. En los pozos 2 y 4 se observa una tendencia descendente en los valores de consumo específico. El análisis estadístico corrobora estas observaciones, pues no existe correlación entre esta variable y las horas acumuladas excepto en el caso del Pozo 1.

Matrices de correlaciones

Las matrices de correlaciones ponen de manifiesto la correlación entre las variables analizadas. En todos los pozos se observa una fuerte correlación negativa entre la eficiencia energética (EE) y el consumo específico (Cesp), y entre EE y el consumo específico por metro de altura de elevación (Cesp.m). Estos valores son esperados puesto que se trata de tres variables resultado dependientes entre sí.

Se esperaba encontrar una fuerte correlación negativa entre las horas de funcionamiento (Work.H) y la eficiencia energética (EE). Sin embargo, solamente en el Pozo 1 se ha encontrado correlación negativa significativa (-72%). En el resto de pozos la correlación es muy baja, incluso en algún caso de signo positivo. Análogamente, sólo en el Pozo 1 se ha encontrado correlación negativa entre el número de arranques y la eficiencia energética.

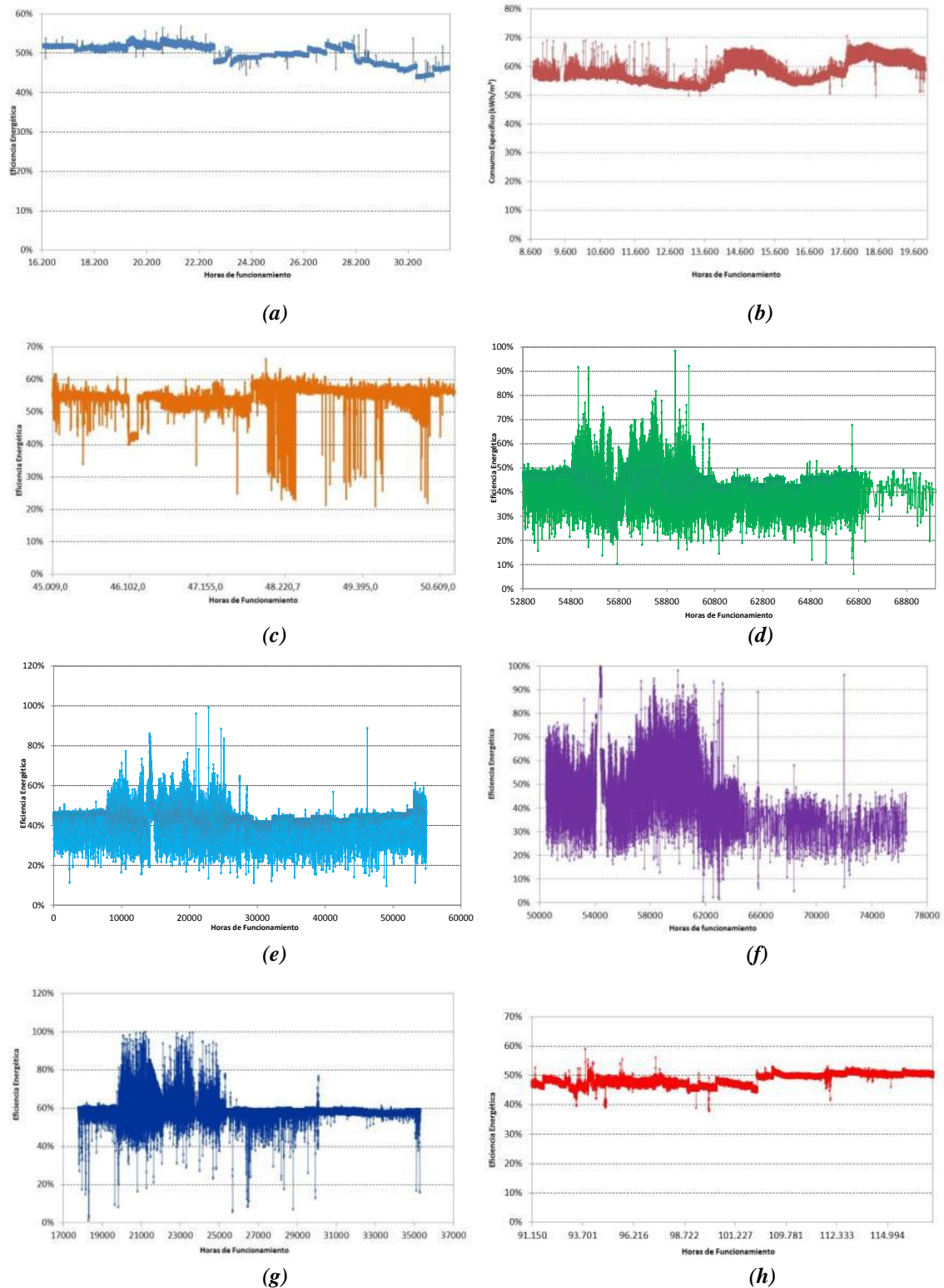


Figura 3. Evolución de la eficiencia energética frente a horas de funcionamiento pozos 1 a 8 (a)-(h)

Las matrices de correlaciones no permiten establecer un modelo de predicción de la eficiencia energética o de la pérdida de eficiencia a partir de las variables independientes analizadas.

Tabla 3. Matriz de correlaciones. Pozo 1

	Work.H	Starts	Hz	Flow	Head	EE	Cesp	Cesp.m	Year	Month	Day	time
Work.H	100	99,09166	-	-59,77892	3,75582	-72,53235	63,76272	75,49063	86,56107	51,94545	4,44059	1,09164
Starts	99,09166	100	-	-52,38600	-0,18851	-67,80063	56,85590	70,26680	91,17146	42,46123	3,99096	1,08223
Hz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flow	-59,77892	-52,38600	-	100	-65,73916	58,63050	-97,74702	-62,99709	-28,89341	-69,37861	-3,17805	-1,77846
Head	3,75582	-0,18851	-	-65,73916	100	15,30381	59,85369	-14,05767	-19,76261	41,48934	0,30485	3,17458
EE	-72,53235	-67,80063	-	58,63050	15,30381	100	-69,02321	-98,71134	-58,35160	-44,21429	-3,94470	1,09468
Cesp	63,76272	56,85590	-	-97,74702	59,85369	-69,02321	100	70,85301	34,81394	67,22549	3,32987	1,44831
Cesp.m	75,49063	70,26680	-	-62,99709	-14,05767	-98,71134	70,85301	100	59,76178	47,69026	3,64607	-0,99923
Year	86,56107	91,17146	-	-28,89341	-19,76261	-58,35160	34,81394	59,76178	100	2,39873	-0,11572	0,32262
Month	51,94545	42,46123	-	-69,37861	41,48934	-44,21429	67,22549	47,69026	2,39873	100	0,76413	1,38525
Day	4,44059	3,99096	-	-3,17805	0,30485	-3,94470	3,32987	3,64607	-0,11572	0,76413	100	-0,13268
time	1,09164	1,08223	-	-1,77846	3,17458	1,09468	1,44831	-0,99923	0,32262	1,38525	-0,13268	100

Interpretación de los árboles

Los árboles obtenidos para cada Pozo permiten predecir el valor de la eficiencia en función del valor de las variables que aparecen en el árbol.

Se eliminó la variable Cesp.m porque se obtiene como cociente de dos variables: Cesp y Head.

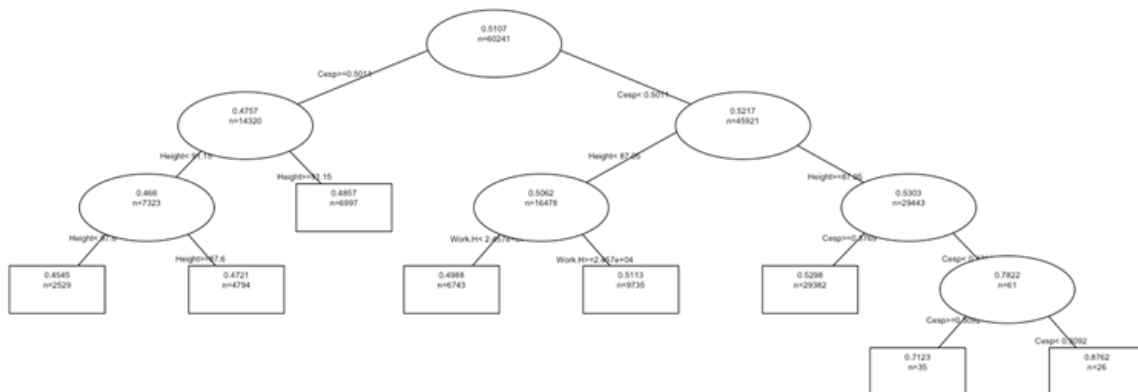


Figura 4. Árbol de regresión. Pozo 1

En los pozos 2 y 7 aparece como única variable Cesp. Es decir, solamente valor del consumo específico permite determinar cuál será el valor de la eficiencia energética. Ninguna de las variables independientes (horas de trabajo, arranques, frecuencia, caudal o altura manométrica) son decisivas a la hora de predecir el rendimiento. En los pozos 3, 4, 5, 6 y 8 aparecen como variables predictivas el consumo específico y la altura manométrica (Head). En función de los valores del consumo específico y de la altura manométrica suministrada por la bomba se podría predecir la eficiencia energética. Solamente en el Pozo 1 aparece el número de horas de trabajo acumuladas (Work.H), junto con la altura manométrica y el consumo específico, como variables predictivas (Figura 4).

Discusión

Los valores de eficiencia energética medidos en los 8 pozos durante los tres años, de media varían entre el 43% para los pozos 4 y 5 y el 59% para los pozos 2 y 7, por lo que se clasificarían como Eficiencia Energética No Aceptable (<45%) y Normal (50 a 60%) respectivamente, según la clasificación dada en el Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes (Abadía *et al.* 2008). Los pozos 6 y 8 se clasificarían como Eficiencia Energética Aceptable (45-50%) y Eficiencia Energética Buena los pozos 1 y 3 (50-60%).

El número de horas de funcionamiento acumuladas es una variable que debería afectar significativamente a la evolución de la eficiencia energética. Sin embargo sólo en uno de los pozos presenta una correlación negativa con la eficiencia energética.

La curva teórica de rendimiento en función de las horas de funcionamiento es decreciente, con picos que corresponden a reparaciones o labores de mantenimiento, pero el decrecimiento no es constante ni continuo. La curva suele presentar una asíntota respecto a las horas de funcionamiento, como se observa en la Figura 1. En el caso de las bombas con muchas horas de funcionamiento acumuladas, puede ocurrir que se haya llegado a la zona asintótica de la curva, de modo que las únicas variaciones que se registran son pequeñas oscilaciones relacionadas con variaciones en la demanda de caudal pero ya no se sigue produciendo un descenso significativo del rendimiento, que es lo que realmente ocurre en los ocho pozos analizados.

Por tanto, para poder determinar la pérdida de rendimiento producida a lo largo de la vida de la instalación, sería necesario disponer de datos de eficiencia energética de los bombeos desde su instalación y puesta en marcha, al inicio de su vida útil.

Conclusiones

Se ha analizado la evolución de la eficiencia energética durante los periodos 2011 a 2013 de un total de 8 pozos, siendo la eficiencia energética no aceptable en 2 pozos, aceptable en otros 2 y buena en 4 pozos.

Solamente en un pozo se ha observado una pérdida de rendimiento del bombeo. En dicho pozo se ha establecido una correlación significativa entre la eficiencia energética y las horas de trabajo. En los siete pozos restantes no se ha observado correlación entre las variables resultado (eficiencia energética y consumo específico) y las horas de trabajo, pero sí entre las variables resultado y algunas variables como la frecuencia, la altura manométrica y el caudal. Sin embargo, no se ha encontrado ningún patrón común a todas las instalaciones, por lo cual no es posible establecer un modelo de predicción de la pérdida de eficiencia a partir de las variables independientes analizadas, probablemente debido a que se ha medido el funcionamiento de los pozos en la zona asintótica de la curva de pérdida de rendimiento.

Los resultados ponen de manifiesto que a partir de un número de horas de funcionamiento, la eficiencia energética de los bombeos se hace constante.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de investigación “Acciones para la mejora de la eficiencia energética en el regadío” financiado por el VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. La empresa FACSA ha facilitado los datos de los bombeos monitorizados.

Bibliografía

- Abadía R., Rocamora M.C., Ruiz A. (2008). Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes. Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Serie Divulgación Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura, nº 10. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- Berry, M.J. & Linoff, G. Mastering Data Mining. The Art And Science Of Customer Relationship Management. Wiley, 2000
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Chen, Z. Data Mining And Uncertaining Reasoning. An Integrated Approach. Wiley Interscience, 2001
- Comisión Europea (2001). Study on improving the energy efficiency of pumps. Disponible en: http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/SAVE_PUMPS_Final_Report_June_2003.pdf
- Fleming J. (1989). Identification and implementation of effective pumping system energy cost savings. Pumping Cost Savings in the Water Supply Industry Seminar. Institution of Mechanical Engineers, London, pp 1–8.
- MARM (2002). Plan Nacional de Regadíos horizonte 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Mora M., Vera J., Rocamora C., Abadía R. (2013). Energy Efficiency and Maintenance Costs of Pumping Systems for Groundwater Extraction. *Water Resources Management*, 27: 4395–4408.
- Mora M. (2015). Eficiencia Energética y mantenimiento de grupos sumergidos de pozos profundos en Comunidades de Regantes. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería. Univeersidad Miguel Hernández. Abril-2015.
- Quinlan, J. R. (1987). Simplifying decision trees. *International journal of man-machine studies*, 27(3), 221-234.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Reeves D.T. (1960). Deterioration of a centrifugal pump in service. *Allen engineering review*.
- Siebert S., Burke J., Faures J.M., Frenken K., Hoogeveen J., Döll P., Portmann F.T. (2010). Groundwater use for irrigation - a global inventory. *Hydrology and Earth Systems Science*, 14: 1863–1880.
- WEKA 2015. <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> Weka 3: Data Mining Software in Java. University of Waikato, New Zeland. (Último acceso, Abril, 2015)
- Zektser I.S., Everett L.G. (2004). Groundwater resources of the world and their use. UNESCO IHP-VI. Series on Groundwater Nº 6, UNESCO, Paris, France. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134433e.pdf>. Último acceso: diciembre 2014.

R13 - Desenvolvimento inicial de uma espécie nativa do cerrado brasileiro em função de diferentes substratos e cinco lâminas de irrigação

Oliveira, H.¹; Souza, C.¹; Félix, D.¹; Fernandes, L.¹; Xavier, P.¹; Magalhães, L.¹

¹Instituto Federal Goiano, Rod. 154, Km 03 – Cx. Postal 51 – Ceres - Goiás, e-mail: henrique.fonseca@ifgoiano.edu.br

Resumo

O presente trabalho propôs avaliar o crescimento inicial de plantas de baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog), em diferentes substratos e lâminas de irrigação e selecionar as características produtivas que resultem em condições ideais para a produção de mudas desta espécie. Foi implantado um experimento no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em parcelas subdivididas no esquema 4 x 5, sendo as parcelas compostas por cinco lâminas de irrigação diárias (6, 8, 10, 12 e 14 mm) e as subparcelas contendo quatro substratos: S1, 100% Solo (Latossolo vermelho); S2: 50% Solo (Latossolo vermelho) e 50% Areia; S3: 45% Solo (Latossolo vermelho), 45% Areia e 10% Esterco Bovino Curtido e S4: Substrato comercial Basaplant (a base de vermiculita expandida, fibra de coco e casca de pinus). Foram utilizados gotejadores comerciais de vazão 2 l h⁻¹, variando o tempo de aplicação. As características avaliadas foram altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folíolos (NFO), comprimento de raiz (CR), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de muda (MSM), relação das massas secas de raiz e parte aérea (MSR/MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Inicialmente os dados das características morfológicas das mudas foram submetidos à análise de variância (teste F de Fisher), ao nível de 5% de probabilidade. Aos 200 dias após a semeadura (DAS) os substratos influenciaram AP, DC, NFO, MSR, MSPA, MSM, relação MSR/MSPA e índice de qualidade de Dickson (IQD), sendo que o substrato S1 (100% Solo) proporcionou maior crescimento e qualidade às plantas de baruzeiro. Dentre as lâminas de irrigação estudadas a de 6 mm dia⁻¹ pode ser utilizada sem perdas de crescimento e qualidade das plantas de baruzeiro, nas condições em que ocorreu o estudo.

Palavras-chave: Irrigação por gotejamento. *Dipteryx alata* Vog. Crescimento inicial. Índice de Qualidade de Dickson.

Initial development of plant species of the Brazilian Savannah in function of different substrates and five irrigations levels

Abstract

This study aimed to evaluate the initial growth of baruzeiro plants (*Dipteryx alata* Vog), on different substrates and irrigation levels and select the productive features that result in ideal conditions for the production of seedlings of this species. The experiment was installed in a randomized block design, with four replications, in split-plot, in the scheme 4 x 5, with plots composed of five daily irrigations levels and four subplots substrates: S1, 100% soil (OXISOL RED); S2: 50% soil (OXISOL RED) and 50% sand; S3: 45% soil (OXISOL RED), 45% sand, and 10% of tanned and S4: Commercial Substrate Basaplant (base expanded vermiculite, coconut fiber and pine bark). The five daily watering (6, 8, 10, 12 and 14 mm) make up the subplot. The drip irrigation system was used, with self-compensating emitters with a discharge rate of 2 l h⁻¹, varying the application time. The evaluated characteristics were plant height (PH), the stem diameter (SD), number of leaflets (NOL), the root system length (RSL), the dry matter mass of roots (DRM), dry matter mass aerial part (DMAP), the dry matter mass seedling (DMS), the ratio between roots dry matter mass and aerial part (DMS / DMAP) and seedling quality (Dickson Quality Index - IQD). Initially, data of the morphological characteristics of the seedlings were submitted to analysis of variance (Fisher's F - test), at 5% probability. At 200 DAS the substrates influenced PH, SD, NOL, RSL, DMAP, DMS, in the relation DMS/MSPA and Dickson Quality Index (IQD). The substrate S1 (100% Soil) provided greater growth and quality to baruzeiro plants. Among the irrigation levels studied, the irrigation depth of 6 mm day⁻¹ can be used without compromising yield and quality of baruzeiro plants in the conditions on which this study was done.

Keywords: Drip irrigation. *Dipteryx alata* Vog. Initial growth. Dickson Quality Index

Introdução

Nos últimos anos, na região do Cerrado brasileiro, tem-se observado um interesse crescente pelo cultivo de espécies arbóreas, as quais se destacam por sua grande importância ambiental e comercial.

Uma das espécies de destaque é o baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.) (Sano, 1999), que está entre as dez espécies nativas do bioma Cerrado mais promissoras, devido a alta taxa de germinação de suas sementes, bom estabelecimento de mudas (Soares et al., 2008), fixação de nitrogênio e ao seu potencial madeireiro, alimentício, oleaginoso, medicinal, paisagístico e sobretudo na recuperação de áreas degradadas (Pacheco, 2008). A polpa possui alto teor de fibra, açúcar, potássio, cobre e ferro (Alves et al., 2010).

Atualmente grande atenção é despendida a todas as fases de cultivo de espécies com tamanho valor agregado, tal é o caso do baruzeiro. Na fase inicial de cultivo, mais especificamente durante a produção de mudas em viveiro, dentre as técnicas empregadas para incremento de qualidade, destaca-se a irrigação. Para Augusto et al. (2007) quando se utiliza a irrigação é necessário atentar-se ainda para a forma de utilização da água, visando o seu melhor aproveitamento e consequentemente a maior eficiência no processo, incluindo no manejo, técnicas que primem o uso racional da água, evitando assim custos excessivos e até mesmo impactos ambientais negativos.

Outro fator que exerce influência sobre a qualidade das mudas é o substrato empregado, o qual deve apresentar propriedades físicas e químicas adequadas para o desenvolvimento das plantas (Oliveira et al., 2005), possuir composição uniforme para facilitar o manejo e apresentar um custo compatível com a atividade (Dantas et al., 2009).

Uma vez que o bom desenvolvimento da planta na fase inicial pode determinar o potencial da planta adulta, verifica-se a necessidade de avaliação dos insumos produtivos desde a fase de produção de mudas. Dentre os insumos utilizados na produção das mudas, merecem destaque a irrigação e o substrato, os quais ainda possuem uma base teórica de informações pouco significativa.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de plantas de baru (*Dipteryx alata* Vog.), em diferentes substratos e lâminas de irrigação.

Material e Métodos

Experimento

O experimento foi conduzido no período de abril a outubro de 2014, em casa de vegetação, situada na área experimental do Instituto Federal Goiano - Câmpus Ceres, cuja altitude é de 590 m. O clima do local segundo a classificação de Köppen, citado por Marques (2013) é do tipo Aw (quente e semiúmido com estação seca bem definida de maio a setembro).

Descrição do local de cultivo

A casa de vegetação foi instalada no sentido Leste-Oeste, com 15,6 m de comprimento (sete segmentos de 2,2 m), 7 m de largura, altura de 2,3 m nas laterais e de 2,9 m na parte central. A cobertura utiliza filme de polietileno de baixa densidade (PBDE), de 0,15 mm de espessura, tratado contra a ação de raios ultravioleta e quando novo a transparência é de aproximadamente 80%.

As laterais e a cobertura da casa de vegetação são constituídas por manta de sombreamento 50% e ao longo de seu perímetro há um rodapé de 30 cm de altura, feito em alvenaria.

Substratos

Foram utilizados no experimento quatro substratos, com as seguintes composições:

- Substrato 1 (S1) - 100% Latossolo Vermelho (proveniente de um barranco localizado nas dependências do Instituto Federal Goiano - Câmpus Ceres).
- Substrato 2 (S2) - 50% Latossolo Vermelho e 50% Areia.
- Substrato 3 (S3) - formado por 45% Latossolo Vermelho, 45% Areia e 10% Esterco bovino curtido.
- Substrato 4 (S4) - Substrato Comercial Basaplant®

Os recipientes utilizados para cultivo das mudas foram sacos plásticos próprio para a produção de mudas, com dimensões de 30 x 9 cm, para altura e diâmetro respectivamente, cujo volume é de 2 L. No processo de enchimento dos recipientes, fez-se a mistura dos substratos utilizando baldes, enxadas e carrinho-de-mão, sendo que para cada 1000 L da mistura foram adicionados 4 kg do fertilizante formulação 04-30-10, o qual apresenta a seguinte composição de macronutrientes (04% N, 30% P₂O₅ e 10% K₂O), semelhantemente ao utilizado por LOPES et al. (2005).

Produção de mudas

Os frutos de Baru (*Dipteryx alata* Vog.) foram coletados de uma só planta matriz. Próximo à data de semeadura foi realizada a retirada das sementes dos frutos, as quais foram selecionadas eliminando as de tamanho inferior à média e também sementes com defeitos, tais como manchas pretas.

A semeadura foi realizada no dia 16 de abril de 2014 em uma sementeira de 1,5 x 2,5 m, contendo areia lavada como substrato.

A emergência ocorreu aos 15 Dias Após a Semeadura (DAS) e aos 20 DAS efetuou-se o transplântio das plântulas para os sacos plásticos. Foram utilizadas as plântulas que na data do transplântio apresentavam dois cotilédones e um par de folíolos.

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, em parcelas subdivididas, no esquema 5 x 4. Nas parcelas utilizaram-se

cinco lâminas de irrigação diárias (6, 8, 10, 12 e 14 mm) e nas subparcelas quatro substratos (S1: 100% Latossolo Vermelho; S2: 50% Latossolo Vermelho e 50% Areia; S3: 45% Latossolo Vermelho, 45% Areia e 10% Esterco bovino curtido e S4: Substrato Comercial Basaplant®) conforme trabalho de Lopes et al. (2007) e Silva (2012). Cada subparcela foi constituída por seis mudas, totalizando 480 mudas no experimento. A diferenciação das lâminas de irrigação teve início aos 35 DAS.

Sistema de Irrigação

Nas adjacências da casa de vegetação, instalou-se uma caixa d'água de 1000 litros, com bóia. O bombeamento foi realizado por um conjunto motobomba de 0,5 hp (horse power), 3450 RPM (rotações por minuto), monoestágio.

Conforme mostrado na Figura 1, utilizou-se na sucção e na saída da motobomba tubos de PVC de 25 mm de diâmetro, sendo instalados registro e manômetro para o controle e a aferição da pressão de operação do sistema e filtro de discos de 120 mesh para impedir a obstrução dos emissores através de partículas sólidas presentes na água de irrigação. Na Figura 2 visualiza-se o cabeçal de controle, cuja função é fazer a diferenciação das diferentes lâminas através do controle do tempo de aplicação.



Figura 1. Saída da motobomba



Figura 2. Cabeçal de controle

Conectadas ao cabeçal de controle, conforme visualizado nas Figuras 3 e 4, o sistema era composto ainda, por cinco linhas de derivação de 25 mm de diâmetro, das quais saíam as linhas laterais de 16 mm, fabricadas em polietileno de baixa densidade (PEBD). Cada linha lateral foi dimensionada para irrigar uma subparcela com 24 mudas.



Figura 3. Linhas de derivação



Figura 4. Saída das linhas laterais



Figura 5. Gotejadores tipo botão



Figura 6. Conector em formato T

Os gotejadores utilizados foram do tipo botão, de fluxo autocompensante (Figura 5), com vazão de 2,0 L h⁻¹ e faixa de pressão de serviço de 5 a 40 mca. Os gotejadores foram acoplados em microtubos conectados a adaptadores em formato de T, que por sua vez eram acoplados através de conectores a linha lateral, permitindo que cada saída da linha lateral fosse capaz de irrigar 2 recipientes (Figura 6).

As irrigações foram realizadas, diariamente, no período vespertino, sendo que para a obtenção das lâminas desejadas fez-se o controle através do tempo, para aplicação das lâminas de 6, 8, 10, 12 e 14 mm, respectivamente.

Características avaliadas

As características avaliadas foram: (i) Altura de Planta (AP), em cm, medida com régua, do colo ao ponto de inserção do folíolo mais novo, completamente abertos; (ii) Diâmetro de Caule (DC), em mm, mensurado com paquímetro digital, de precisão centesimal (0,01 mm), a 0,5 cm acima do nível do substrato; (iii) Número de Folíolos (NFO); (iv) Comprimento de Raiz (CR), em cm, medido com régua fixa sobre uma mesa; (v) Massa Seca de Raiz (MSR), g muda⁻¹; (vi) Massa Seca de Parte Aérea (MSPA), g muda⁻¹; (vii) Massa Seca de Muda (MSM), g muda⁻¹; (viii) Relação das Massas Secas de Raiz e Parte Aérea (MSR/MSPA) e (ix) Qualidade das Plantas, através do Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

Foram realizadas quatro avaliações, sendo estas aos 80, 120, 160 e 200 DAS. Os parâmetros AP, DC, e NFO, os quais independem de método destrutivo, foram quantificados nas quatro avaliações. Nas três primeiras, utilizaram-se todas as seis mudas da subparcela e aos 200 DAS, três mudas.

Como as subparcelas eram constituídas por seis mudas, para minimizar possível erro resultante da variabilidade genética da própria espécie, os parâmetros CR, MSR, MSPA, MSM, MSR/MSPA e IQD foram mensurados aos 200 Dias Após Semeadura destruindo-se ao acaso, três mudas por subparcela.

As raízes foram lavadas em água, evitando eventuais perdas de radicelas. Raízes e parte aérea foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a 60-65°C, durante 72 horas quando foi possível obter MSR e MSPA. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão.

A qualidade das mudas foi determinada através de Equação (1), original de Dickson et al. (1960), conforme descrito por Silva (2012), que considera a distribuição de fitomassa das mudas.

$$IQD = (MSM) / (AP / DC + MSPA / MSR) \quad (1)$$

Em que: IQD é o Índice de Qualidade de Dickson (adimensional); MSM é a Massa Seca de Muda (g); AP é a Altura de Planta (cm); DC é o Diâmetro de Caule (mm); MSPA é a Massa Seca da Parte Aérea (g); e MSR é a Massa Seca de Raízes (g).

Análise estatística

Os dados das características morfológicas das mudas foram submetidos à análise de variância (teste F de Fisher), ao nível de 5% de probabilidade, sendo usado o software de acesso livre, SISVAR (Sistema de Análise de Variância). Nas características em que houve efeito de tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, nos tratamentos primários (Substratos) e a análise de regressão polinomial nos tratamentos secundários (Lâminas de irrigação).

Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra o resultado do Teste F de Fisher, em nível de 5% de probabilidade, para a avaliação final, realizada aos 200 Dias Após a Semeadura (DAS). Nesta Tabela é possível identificar a resposta das variáveis em estudo, Altura de plantas (AP, cm), Diâmetro do Caule (DC, mm), Número de Folíolos (NFO), Comprimento de Raiz (CR, cm), Massa Seca de Raiz (MSR, g muda⁻¹), Massa Seca de Parte Aérea (MSPA, g muda⁻¹), Massa Seca de Muda (MSM, g muda⁻¹), relação das Massas Secas de Raiz e Parte Aérea (MSR/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de plantas de baruzeiro em função dos quatro substratos (S1, 100% Solo (Latossolo vermelho); S2: 50% Solo (Latossolo vermelho) e 50% Areia; S3: 45% Solo (Latossolo vermelho), 45% Areia e 10% Esterco Bovino Curtido e S4: Substrato comercial Basaplant (a base de vermiculita expandida, fibra de coco e casca de pinus)) e das cinco lâminas de irrigação (6, 8, 10, 12 e 14 mm).

Tabla 4. Análise de Variância (Teste F de Fisher) e teste Tukey para Altura de plantas (AP, cm), Diâmetro do Caule (DC, mm), Número de Folíolos (NFO), Comprimento de Raiz (CR, cm), Massa Seca de Raiz (MSR, g muda⁻¹), Massa Seca de Parte Aérea (MSPA, g muda⁻¹), Massa Seca de Muda (MSM, g muda⁻¹), relação das Massas Secas de Raiz e Parte Aérea (MSR/MSPA) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de plantas de baruzeiro aos 200 DAS.

Variável	AP	DC	NFO	CR	MSR	MSPA	MSM	MSR/MSPA	IQD
Lâmina									
(L - mm)									
6	36,58 b	5,72 a	58,11 a	35,21 a	1,87 a	5,00 a	6,72 a	0,40 a	0,74 a
8	32,28 ab	5,91 ab	54,63 a	34,12 a	1,88 a	4,31 a	6,21 a	0,47 a	0,81 a
10	32,14 ab	5,77 a	51,62 a	32,87 a	1,94 a	4,06 a	5,78 a	0,49 a	0,75 a
12	32,07 ab	6,16 ab	55,89 a	32,87 a	2,12 a	4,37 a	6,56 a	0,48 a	0,92 a
14	29,79 a	6,30 b	55,79 a	31,80 a	2,19 a	4,38 a	6,63 a	0,48 a	0,98 a
Substrato									
S1	37,87 c	6,28 b	56,95 b	35,13 a	2,70c	5,75 c	8,45 c	0,47 b	1,05 b
S2	30,33 ab	5,98 b	55,64 b	32,34 a	2,20 bc	4,00 b	6,01 b	0,57 c	0,89 b
S3	33,46 bc	6,15 b	63,18 c	33,18 a	2,05 b	5,55 c	7,53 c	0,38 a	0,95 b
S4	28,63 a	5,48 a	45,06 a	32,85 a	1,05 a	2,40 a	3,53 a	0,43 ab	0,47 a
Teste F									
L	3,366*	4,292*	1,701 ^{NS}	1,415 ^N _s	0,859 ^{NS}	2,132 ^{NS}	1,371 ^{NS}	2,005 ^{NS}	3,202 ^{NS}
S	11,372*	10,593*	21,445*	1,532 ^N _s	23,917*	54,093*	52,195*	11,373*	23,319*
L x S	0,842 ^{NS}	0,837 ^{NS}	0,928 ^{NS}	0,682 ^N _s	2,068*	0,539 ^{NS}	0,762 ^{NS}	1,611 ^{NS}	1,443 ^{NS}
CV (%)	16,52	8,11	13,16	13,19	31,62	21,44	20,86	22,26	28,03

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

* Significativo a 5% de significância

^{NS} Não significativo a 5% de significância

Aos 200 DAS a maior média de AP, 36,58 cm, foi observada para a lâmina de 6 mm dia⁻¹, enquanto a menor foi de 29,79 cm, obtida com a lâmina de 14 mm dia⁻¹. Para a mesma espécie, Silva (2012) obteve média de 38,62 cm para a Altura de Plantas aos 200 DAS, contudo o resultado foi obtido utilizando uma lâmina em torno de 10 mm dia⁻¹. O substrato S4 (Comercial: Basaplant®) apresentou menores valores de Altura de Planta (AP) em relação aos demais, enquanto o S1 (100% Solo – Latossolo vermelho) foi o que apresentou resultados mais significativos. No trabalho de Paiva Sobrinho et al. (2010) os

mesmos obtiveram maiores valores de AP de baruzeiro, 39,10 cm, utilizando substrato 100% Solo, na avaliações realizada aos 120 DAS.

Para o DC o maior valor obtido foi 6,30 mm para a lâmina de irrigação 14 mm diários. Silva (2012) obteve valores de DC de 8,09 para mudas de baruzeiro submetidas a uma lâmina de 10 mm diários aos 200 DAS. O substrato S4 foi o que apresentou as menores médias ao longo do período de avaliação, diferindo significativamente dos demais. O maior valor médio encontrado aos 200 DAS foi de 6,28 mm, no substrato S1 (100 % solo), enquanto o menor foi 5,48 mm, no substrato S4 (Comercial). Paiva Sobrinho et al. (2010), obtiveram maiores valores de DC de baruzeiro de 8,37 mm, também utilizando substrato 100% Solo.

O número de folíolos (NFO) por muda não foi influenciado pelas lâminas de irrigação, pelo teste F de Fisher. Já para os substratos houve efeito significativo sobre o NFO das mudas de baruzeiro em todas as avaliações. O substrato S4 a exemplo do ocorrido para AP e DC apresentou quantidade folíolos significativamente inferior aos demais em todas as avaliações, com média encontrada aos 200 DAS de 45,10 folíolos, enquanto o S3 (45% Solo (Latosolo vermelho), 45% Areia e 10% Esterco Bovino) apresentou 63,18 folíolos em média, caracterizando-se como o mais adequado estatisticamente. Este fato dá-se em função de sua estrutura e composição, que em parte se assemelha bastante aos solos onde esta planta é encontrada na natureza. Silva (2012) trabalhando com diferentes recipientes e utilizando Substrato comercial + Areia (1:1), obteve melhor média de NFO de 72 aos 200 DAS.

O comprimento do sistema radicular (CR) não diferiu estatisticamente para as lâminas, tampouco para os substratos. Os maiores valores médios encontrados foram 35,21 cm, para a lâmina de 6 mm e 35,13 cm para o substrato S1 (100% Solo). Silva (2012) encontrou valor médio de 37,9 cm para comprimento de raiz utilizando lâminas variando de 2 a 10 mm, em incrementos de 2 mm. Diferente do observado neste trabalho Pio et al. (2005) trabalhando com mudas de jabuticabeira, obtiveram diferença significativa a 5%, sendo as melhores resultados para crescimento de raiz com o uso de substrato comercial plantmax®.

As lâminas de irrigação utilizadas não tiveram efeito significativo a 5% de significância para os valores de Massa Seca de Raízes (MSR) e Massa Seca de Parte Aérea (MSPA). Ao contrário das lâminas os substratos apresentaram diferença significativa entre si pelo Teste F de Fisher. Pelo mesmo teste identificou-se interação entre lâmina e substrato. O substrato S1 (100% Solo) promoveu maior MSR e MSPA em relação aos demais e aos 200 DAS o maior valor médio de MSR foi de 2,70 g muda⁻¹ e de MSPA 5,75 g muda⁻¹, respectivamente. Em recipiente de 1230 cm³, Melo (1999) obteve MSR de 5,0 g muda⁻¹, utilizando como substrato uma mistura de substrato comercial e areia (1:1). Silva (2012) obteve valor máximo de MSR de plantas de baruzeiro aos 200 DAS de 8,3 g muda⁻¹, utilizando lâmina de 8 mm dia⁻¹. Para a MSPA, Silva (2012) obteve valores superiores a 9 g muda⁻¹ aos 200 DAS, utilizando uma mistura de substrato comercial e areia (1:1). Já Paiva Sobrinho et al. (2010) obtiveram maiores médias de MSPA para o baruzeiro em substrato Solo 100%.

As lâminas de irrigação utilizadas não proporcionaram efeito significativo a 5% de significância para os valores de Massa Seca de Muda (MSM). Também não houve influência significativa sobre a interação dos substratos com as lâminas aplicadas. Houve influência dos substratos sobre a Massa Seca de Muda (MSM) aos 200 DAS,

sendo o maior valor médio de MSM, 8,45 g planta⁻¹, encontrado para o substrato S1 (100% Solo). A menor média para a MSM 3,53 g planta⁻¹, foi observada para o substrato Comercial, sendo esta estatisticamente inferior às médias dos demais substratos. Dantas et al. (2009) trabalhando com mudas de catingueira, obteve os melhores resultados com substrato Solo + Areia (1:1), aos 100 DAS.

A Relação das Massas Secas de Raiz e da Parte Aérea (MSR/MSPA) não apresentou resposta significativa a 5% em função das lâminas de irrigação. Os substratos tiveram influência para MSR/MSPA, sendo o S2 (50% Solo e 50% Areia) o que proporcionou a melhor média, 0,57. A relação MSR/MSPA do baruzeiro foi inferior à obtida por Melo (1999), de 1,35. Silva (2012) obteve valores de MSR/MSPA de 0,80 com uma mistura de Substrato comercial + Areia (1:1) para a mesma cultura do estudo.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) não variou em função dos níveis de irrigação aplicados conforme pode ser visto na Tabela 1. A interação substratos e lâminas não apresentou diferença significativa a 5% de significância.

Com relação aos substratos, obteve-se resposta significativa (Tabela 1), sendo maior o IQD das mudas produzidas no substrato S1, este não diferenciando dos S2 e S3, mas proporcionando incremento de 121 % em relação ao S4. O IQD máximo obtido foi de 1,05 para o substrato S1, valor este, inferior ao observado para Silva (2012) que obteve IQD de 2,85 trabalhando com uma mistura de substrato comercial e areia (1:1). No entanto, assim como para outras variáveis o uso de adubações de cobertura adotadas por este autor, pode ser fator determinante para a obtenção de um IQD tão elevado.

Conclusões

Dentre as lâminas de irrigação estudadas, a lâmina de 6 mm dia⁻¹ pode ser utilizada sem perdas de crescimento e qualidade das plantas de baruzeiro, nas condições em que ocorreu o estudo.

O substrato S1 (100% Solo), nas condições deste experimento, proporcionou maior crescimento e qualidade às plantas de baruzeiro.

Agradecimentos

Agradecimentos: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG, pelo apoio financeiro à participação no evento.

Ao Instituto Federal Goiano, por meio do programa PIPECTI.

Bibliografia

- Alves, A. M., Mendonça, A. L., Caliari, M., Cardoso-Santiago, R.A., 2010. Avaliação química e física de componentes do baru (*Dipteryx Alata* Vog.) para estudo da vida de prateleira. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 40, 266-273.
- Augusto, D. C. C., Guerrini, I. A., Engel, V. L. E Rousseau, G. X., 2007. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. *Revista Árvore*. 31, 745-751.
- Dantas, B. F., Lopes, A. P., Silva, F. F. S. da; Lucio, A. A., Batista, P. F., Pires, M. M. M. L., Aragão, C. A., 2009. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. *Revista Árvore*. 33, 413-423.
- Lopes, J. L. W., Guerrini, I. A., Saad, J. C. C., Silva M. R., 2005. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. *Scientia Forestalis*. 68, p.97-106.
- Lopes, J. L. W., Guerrini, I. A., Saad, J. C. C. Silva, M. R., 2007. Nutrição mineral de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e substratos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 31, 713-722.
- Marques, V. S., 2013. Erosão hídrica em microbacia utilizando geotecnologias. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 177 p.
- Melo, J. T. de., 1999. Respostas de mudas de espécies arbóreas do cerrado nutrientes em Latossolo Vermelho Escuro. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, 104 p.
- Oliveira, R. P. de, Scibittaro, W. B., Borges, R. S., Nakasu, B. H. 2005. Mudanças de citros: etapas da produção de mudas certificadas. Embrapa Clima Temperado (Sistemas de Produção, 1).
- Pacheco, A. R., 2008. Adubação de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.), em viveiro. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Goiás, 86 p.
- Paiva Sobrinho, S., Luz, P. B., Silveira, T. L. S., Ramos, D. T., Neves, L. G., Barelli, M. A. A., 2010. Substratos na produção de mudas de três espécies arbóreas do cerrado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 5, 238-243.
- Pio, R., Gontijo, T. C. A., Ramos, J. D., Chalfun, N. N. J., 2005. Características físico-químicas de frutos de pitangueira em função da altura de inserção na planta. *Revista Brasileira de Agrociência*. 11, 105-107.
- Sano, S. M.; Vivaldi, L. J.; Spehar, C. R., 1999. Diversidade morfológica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34, 513-518.
- Silva, C. A., 2012. Desenvolvimento inicial de três espécies nativas do Cerrado em função de lâminas de irrigação e tamanhos de recipiente. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 181 p.
- Soares, T. N.; Chaves, J. L.; Telles, M. P. C.; Diniz Filho, J. A. F.; Resende, L.V., 2008. Distribuição espacial da variabilidade genética intra populacional de *Dipteryx alata*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43, 1151-1158.

SESIÓN III: MECANIZACIÓN

M01 - Análisis del proceso de implantación de la inspección de equipos de aplicación de productos fitosanitarios en España.

Gil, E.¹, Jiménez, A.², García Ramos, F.J.², Boné, A.², Vidal, M.²

¹ Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Esteve Terradas, 8 – Campus del Baix Llobregat, 8, 08860 Castelldefels (Barcelona) Emilio.Gil@upc.edu. ²Escuela Politécnica Superior, Ctra. Cuarte s/n, 22071 Huesca. angelji@unizar.es ; fjavier@unizar.es; anbone@unizar.es; vidalcor@unizar.es

Resumen

La Directiva 2009/128/CE de uso sostenible de plaguicidas establece los plazos y condiciones para la implantación de la inspección obligatoria de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios, siendo el Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios, la norma que traspuso dicho mandato a la legislación española, a la vez que transfiere la gestión de la puesta en marcha y el control de la estructura inspectora a las CCAA, encargándoles "el control y aplicación del programa de inspecciones que se lleven a cabo en su ámbito territorial". Transcurrido más de la mitad del período de tiempo disponible para inspeccionar todo el parque de equipos de aplicación de fitosanitarios, son menos del 5% de los 200.000 equipos, que se estima componen el parque nacional, los que han sido inspeccionados, con una distribución muy desigual. En este trabajo se presenta un estudio de la situación actual del proceso de implantación de los programas autonómicos para la inspección del parque de equipos de aplicación de productos fitosanitarios en uso de España. Asimismo se realiza el análisis del trabajo realizado por las estaciones de inspección autorizadas, tomando como base los resultados de las inspecciones llevadas a cabo por algunas de las empresas que están trabajando en Cataluña y Aragón, con el fin de poder determinar los problemas prácticos para la ejecución del plan de inspecciones y el resultado de las mismas.

Palabras clave: pulverizador, atomizador, ITEAF, plaguicidas, inspecciones.

Analysis of the implementation process of inspection of sprayers in use in Spain

Abstract

Directive 2009/128 / EC of sustainable use of pesticides establishes the terms and conditions for the implementation of mandatory inspection of pesticide application equipment, and Royal Decree 1702/2011, of 18 November, periodic inspections application equipment for plant protection products, the rule that mandate transposed into Spanish law, while transferring the management of the implementation and control of inspection structure to the CCAA, charging "control and implementation of the program of inspections carried out on its territory ". After more than half the time available for inspection throughout the park pesticide application equipment are less than 5% of 200000 equipment, estimated to comprise the national park, which have been inspected, with a distribution very uneven. In this paper a study of the current situation of the implementation process of the regional programs for inspection of park equipment application of pesticides in use in Spain is presented. Also the analysis of the work of stations authorized for inspection is performed based on the results of inspections carried out by some of the companies working in Catalonia and Aragon, in order to determine the practical problems for implementation of the plan of inspections and the result obtained.

Keywords: boom sprayer, air assisted sprayer, ITEAF, pesticides, inspections

Introducción

El proceso legal puesto en marcha en España, tras la publicación de la Directiva de Uso Sostenible (EU, 2009) obliga a los Estados Miembros desarrollar las normativas específicas en sus territorios que permitan la ejecución del mandato. En España, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente publicó en noviembre de 2011

el Real Decreto 1702/2011 (BOE, 2009), que regula los aspectos concretos de la puesta en marcha del programa obligatorio de inspecciones. El RD establece los mínimos requisitos que se deben cumplir para la creación de las Unidades de Inspección de Equipos de Aplicación (ITEAF), los contenidos obligatorios y la duración de los cursos de formación de directores e inspectores responsables de las ITEAF, así como los criterios de priorización para la realización de las inspecciones. Todo ello con el objetivo final de cumplir con el mandato de la Directiva Europea de inspeccionar todos los equipos de aplicación antes del 26 de noviembre de 2016.

No obstante, y de acuerdo con la estructura política del Estado Español, son las Comunidades Autónomas, o los órganos competentes por ellas designados, las últimas responsables de la puesta en marcha, supervisión y control del proceso de inspección. Por ese motivo, tras la publicación del RD en diciembre de 2011, los diferentes gobiernos autónomos del Estado Español inician el proceso de redacción y publicación de las correspondientes Ordenes Autonómicas. Este nuevo requisito oficial se convierte en preceptivo para la inscripción, en un territorio determinado, de una ITEAF. Y lógicamente, dadas las diferencias entre las distintas CCAA, cuatro años después de la publicación del Real Decreto se han publicado únicamente 11 Órdenes Autonómicas (Figura 1) además de la Orden publicada por la Diputación de Vizcaya, y se han inscrito de forma oficial 32 ITEAF. Pero es importante destacar, no obstante, que existen diferencias, algunas importantes, entre los requisitos y principios adoptados en los diferentes territorios autónomos, lo que incide de forma negativa en el necesario proceso de armonización de un sistema objetivo útil del proceso de inspecciones.

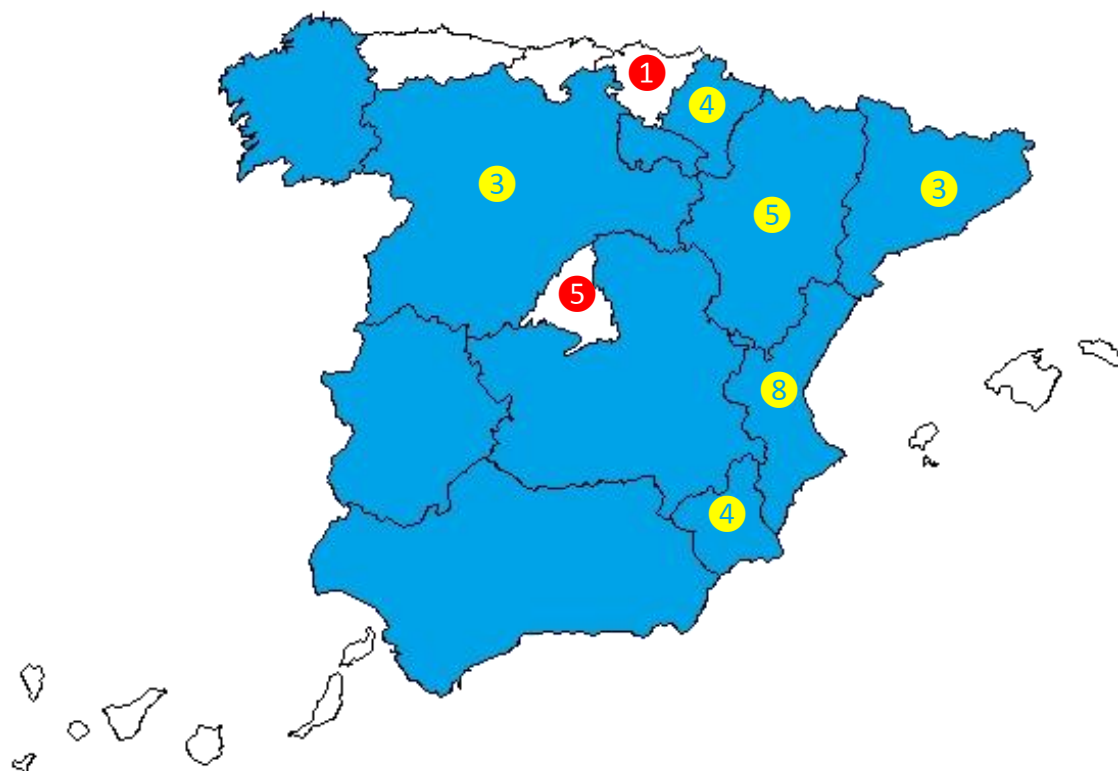


Figura 1. CCAA que han publicado la Orden Autonómica (en azul) y número de ITEAF autorizadas (actualizado Marzo 2015).

Y, a partir de ese documento, y atendiendo a las características específicas del Estado Español, con 17 CCAA, se inicia el proceso de publicación de las correspondientes Ordenes Autonómicas que regulan las inspecciones en cada uno de los territorios. ¿Cuál es la situación en estos momentos? Pues que hay 9 CCAA que han publicado ya su Orden Autonómica correspondiente: Navarra, Murcia, Aragón, La Rioja, Galicia, Valencia, Castilla-León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía a las que se une la Diputación Foral de Vizcaya. A estas Comunidades debe sumarse Cataluña y Madrid que, sin haber publicado una Orden Autonómica específica, ya han puesto en marcha el sistema de inspecciones. Como puede observarse, tenemos 11 de las 17 CCAA con un sistema legal establecido y, por tanto, con un programa de inspecciones teóricamente en funcionamiento. Pero, ¿cuántas Unidades de Inspección – ITEAF – están realmente en marcha? Una búsqueda de datos, nada fácil por cierto, indica que en estos momentos existen 32 unidades de inspección autorizadas en España, distribuidas de acuerdo a la Figura 1.

La aplicación práctica de las inspecciones requiere conocer el censo de EAF existente. En este sentido, el primer requisito para inspeccionar un equipo es que esté registrado en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA). Esta etapa ya ha sido finalizada puesto que el plazo de inscripción de este tipo de equipos finalizó el 15 de julio de 2011 en base al RD 1013/2009.

Es importante poner de manifiesto que, un aspecto determinante para que la inspección de los equipos consiga la eficacia esperada, es establecer un adecuado control del sistema. A este respecto, la diversidad es máxima, pues cada CCAA tiene la autonomía y la responsabilidad de organizar y gestionar su programa de inspecciones, pero parece que el modelo que está resultando más eficaz, por el momento, es el sistema adoptado por los Países Bajos, donde una entidad autorizada (Langenakens, 2010), es la responsable de revisar los equipos utilizados en las ITEAF y hacer visitas, sin previo aviso, para la supervisión a las ITEAF y para re-inspeccionar alguno de los equipos inspeccionados por estas.

Diferencias importantes entre las distintas CCAA

Sin entrar demasiado en detalles, un análisis de las principales características de las Ordenes Autonómicas publicadas hasta la fecha pone de manifiesto diferencias que en algunos casos dificultan la armonización del proceso. Las diferencias más importantes se deben a los requisitos solicitados por las diferentes CCAA para la inscripción de una ITEAF en su territorio, la cuantía de la póliza de responsabilidad civil, o, mucho más importante, el sistema de control de calidad aplicado en cada CCAA o el hecho de que algunos gobiernos autonómicos hayan decidido que sea la propia administración la que ejecute las inspecciones. Este hecho es sin duda uno de los aspectos que más controversia está generando.

Resultados y Discusión

Tras la publicación de las correspondientes órdenes autonómicas, el proceso de inscripción de ITEAF comenzó de forma irregular en las diferentes CCAA, lo que permitió el inicio de las campañas oficiales de inspección. A poco más de un año de la fecha límite establecida por la Directiva de Uso Sostenible, resulta interesante analizar los resultados parciales obtenidos en dos CCAA importantes tanto por el número de

equipos de aplicación como por la intensidad de uso de los mismos (Gil *et al.*, 2012). Por este motivo se han seleccionado cuatro unidades móviles pertenecientes a dos ITEAF de las Comunidades Autónomas de Aragón y Cataluña, y se ha realizado un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos. La información generada por las unidades inspectoras ha sido generada, tras la inspección oficial, utilizando el software PRITEAF (Jiménez *et al.*, 2013) y ha sido analizada adecuadamente con objeto de obtener información detallada sobre el estado de los equipos, los principales problemas presentados, el resultado final de las inspecciones, y alguna otra información interesante.

De las cuatro unidades móviles consideradas, tres pertenecen a la ITEAF aragonesa (A1, A2, A3) y la cuarta pertenece a la ITEAF catalana (C1). Los resultados mostrados se detallan de forma individualizada para cada unidad móvil inspectora y corresponden a las inspecciones realizadas durante 2014 y hasta marzo de 2015.

El número total de máquinas inspeccionadas entre las cuatro unidades móviles ha sido de 2.403. De ellas, el 92% pertenecieron a agricultores particulares, el 4% a sociedades y el 4% a empresas de servicios. Por tipologías de máquinas, el 57% fueron pulverizadores hidráulicos de barra, el 40% pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores), el 2% espolvoreadores y menos del 1% pulverizadores neumáticos y centrífugos.

En la figura 2 se muestra la tipología de máquinas inspeccionadas por cada unidad móvil. La tabla 1 muestra la distribución de dichas máquinas, según su tipología, en función de la provincia donde se realizó la inspección. Se puede observar que en todas las provincias se han inspeccionado más pulverizadores de barra que atomizadores excepto en Girona y Lleida donde, al tratarse de zonas más fruteras, el número de pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores) fue superior al de pulverizadores hidráulicos (barras).

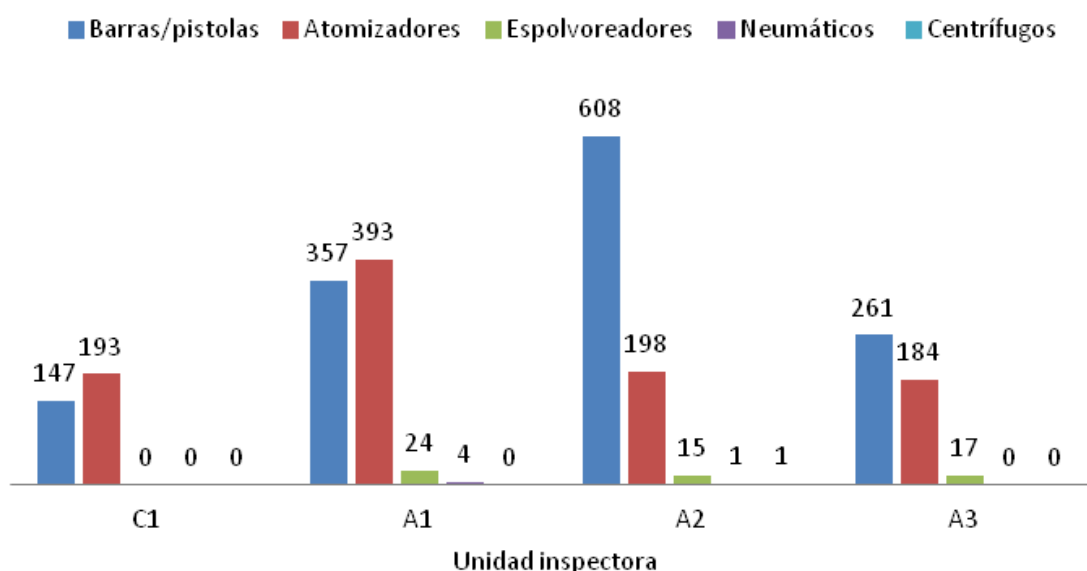


Figura 2. Tipología y número total de los equipos inspeccionados por las cuatro unidades móviles analizadas durante 2014 y hasta marzo de 2015.

Los resultados detallados de las inspecciones realizadas se muestran en la tabla 2. Analizando dichos datos, se observan tendencias razonablemente similares en cuanto a porcentaje de éxito de las inspecciones.

Tabla 1. Número de máquinas inspeccionadas en función del tipo de máquina y la provincia de realización de la inspección considerando las cuatro unidades móviles analizadas durante 2014 y hasta marzo de 2015.

Tipo	Barcelona	Girona	Huesca	Lleida	Tarragona	Teruel	Zaragoza
Barras/pistolas	120	86	225	108	13	15	806
Atomizadores	57	112	151	159	11	22	456
Espolvoreadores	13	0	3	0	3	0	37
Neumáticos	0	0	1	0	0	0	4
Centrífugos	0	0	1	0	0	0	0
TOTAL	190	198	381	267	27	37	1303

Como datos medios, considerando las 2.403 máquinas inspeccionadas, el 67% pasaron la primera inspección de forma favorable, el 29% recibieron informe favorable en la segunda inspección y el 4% no pasaron la inspección. Por lo tanto, el 96% de las máquinas pasaron la inspección aunque el 33% de las máquinas no la pasaron a la primera. Es necesario aclarar que el protocolo de inspección contempla el derecho a una segunda inspección, una vez subsanados los errores, en aquellas máquinas que no han pasado la primera revisión con éxito, con una sistemática similar a las ITV realizadas en vehículos. Estas altas cifras de éxito, que en principio pueden parecer chocantes debido a las experiencias previas existentes en programas piloto de inspección en los que el porcentaje de máquinas desfavorables era más elevado, pueden estar ligadas al hecho de que las máquinas inspeccionadas detalladas en este trabajo han asistido a la inspección de forma voluntaria, sin un calendario obligatorio de la Administración, y, en este caso, es muy probable que se trate de máquinas en buen estado de mantenimiento. También es necesario destacar que las unidades móviles analizadas han realizado charlas informativas a los agricultores previas a la inspección real en las que se les ha informado de los aspectos técnicos más importantes a cumplir por las máquinas, hecho que ha facilitado su puesta a punto previa al proceso de inspección oficial.

Esta información queda ampliada en la figura 3 que refleja los resultados de las inspecciones en las diferentes zonas geográficas donde han operado las cuatro unidades móviles consideradas. Como puede apreciarse el patrón de resultados es muy repetible en todas las provincias analizadas, hecho que refleja una razonable uniformidad en los protocolos de inspección utilizados por las diferentes unidades móviles y un estado del parque de maquinaria similar en las dos Comunidades Autónomas consideradas.

Tabla 2. Resultados de las inspecciones realizadas por las cuatro unidades móviles analizadas durante 2014 y hasta marzo de 2015.

Unidad móvil	C1	A1	A2	A3
Favorable en 1ª inspección	268	502	506	293
Favorable en 2ª inspección	69	221	277	160
Desfavorables en 1ª inspección	72	276	317	169
Desfavorables	3	55	40	9
Máquinas totales	340	778	823	462

Considerando de forma detallada los resultados de cada inspección, se puede realizar una clasificación de los principales defectos técnicos detectados por las unidades inspectoras, información que permite tener una fotografía real de la situación técnica de las máquinas inspeccionadas, en la zona geográfica considerada, situación que puede ser extrapolable a otros puntos de nuestro país con tipologías de máquinas similares (barras y atomizadores). En este sentido, la figura 4 muestra los defectos graves identificados en las inspecciones realizadas. Debe destacarse que con un único defecto grave la inspección no sería favorable.

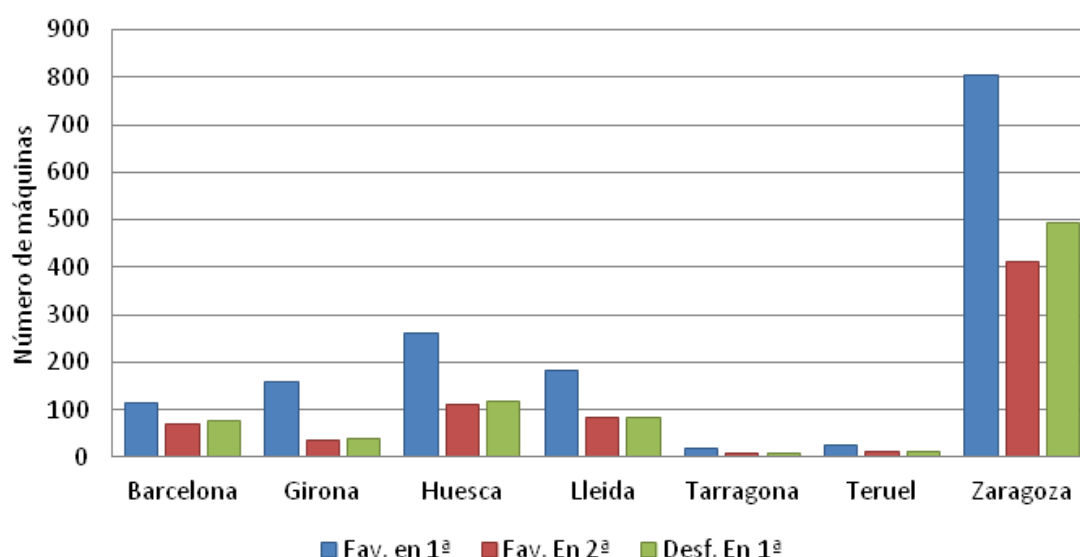


Figura 3. Resultados de las inspecciones realizadas durante 2014 y hasta marzo de 2015, en función de la zona geográfica.

Los defectos graves más habituales se repiten de forma sistemática en las máquinas inspeccionadas por las cuatro unidades móviles, siendo los principales defectos, ordenados de mayor a menor número de incidencias detectadas, los siguientes: sistema de medición (manómetro), boquillas, seguridad (protecciones), filtros y depósito. Si se analiza la distribución de los defectos encontrados por provincias (figura 5) también se observa una homogeneidad en los resultados y una repetitividad razonable. La principal diferencia se produce en el defecto relacionado con la seguridad, en el que la unidad de inspección C1 registra de forma significativa menos errores que el resto de unidades. El hecho de que el tipo de errores sean similares en máquinas ubicadas en zonas geográficas limítrofes y por lo tanto de características similares refleja que los criterios de inspección, basados en la aplicación del Manual de Inspecciones (Gil *et al.*, 2011) editado por el actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se han aplicado de forma similar, salvo excepciones, por las diferentes unidades móviles.

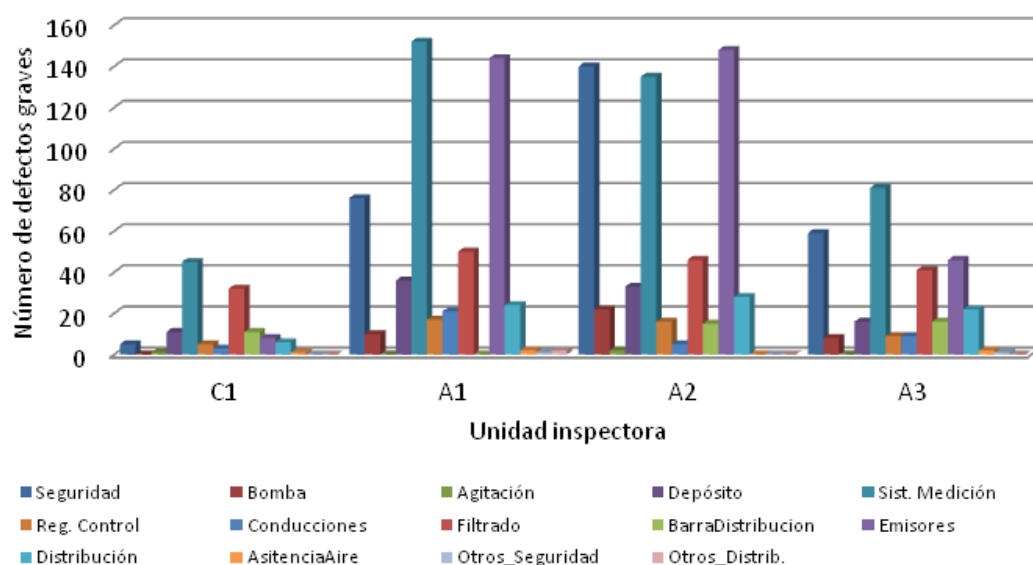


Figura 4. Tipología y número de defectos por unidad inspectora considerando las máquinas inspeccionadas durante 2014 y hasta marzo de 2015.

La mayoría de estos defectos son subsanables con pequeñas modificaciones y/o sustitución de piezas, como manómetros y boquillas, hecho que explica que aquellas máquinas que requirieron una segunda inspección la superasen en la mayoría de los casos.

Los defectos graves encontrados durante las inspecciones coinciden en gran medida con otros trabajos realizados de forma previa a la implantación oficial de las inspecciones en España (Jiménez, 2014).

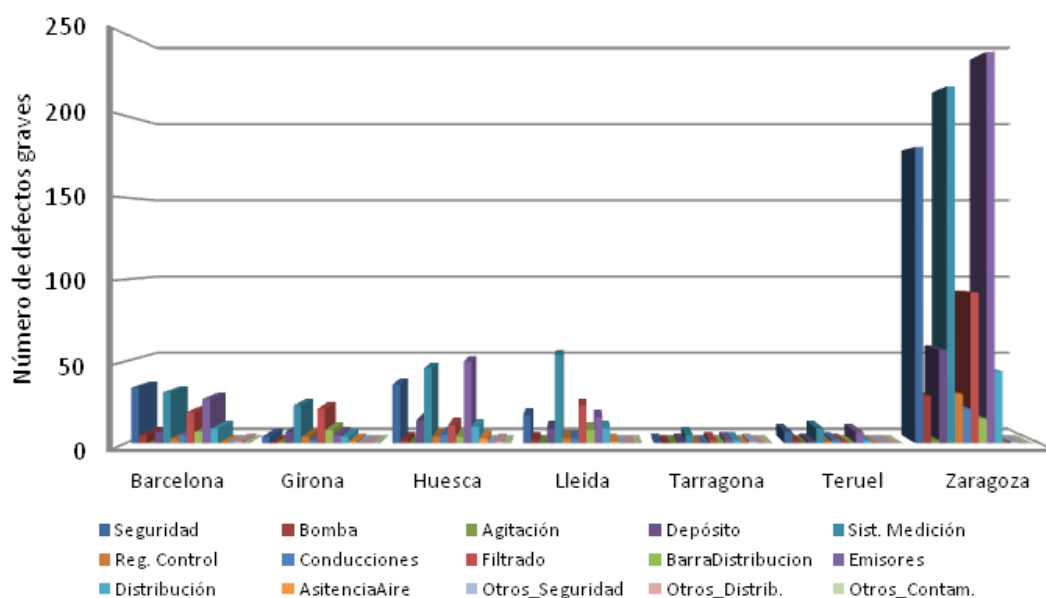


Figura 5. Tipología y número de defectos en función de la provincia de inspección, durante 2014 y hasta marzo de 2015.

Conclusiones

Casi cuatro años después de la publicación del Real Decreto que regula las inspecciones de los equipos de aplicación de fitosanitarios en España, y a poco más de un año y medio de la fecha límite establecida por Europa para completar el proceso de inspecciones, los resultados mostrados anteriormente ponen de manifiesto algunos hechos importantes:

- Existen notables diferencias en el desarrollo normativo y en la implementación de las inspecciones en las diferentes CCAA.
- Teniendo en cuenta la distribución de equipos por CCAA y la situación individual de cada una de ellas en cuanto a número de máquinas inspeccionadas y porcentaje respecto al total, parece difícil que en el tiempo restante se inspeccione la totalidad del parque de equipos, aspecto obligatorio de acuerdo con la Directiva de Uso Sostenible.
- El análisis de los resultados obtenidos por las ITEAF colaboradoras (una en Aragón y otra en Cataluña) revela que, si bien los equipos pueden presentar problemas en la primera inspección, estos son fácilmente solucionables tras la segunda inspección. Ello tiene como consecuencia un porcentaje muy elevado de equipos que superan con éxito el proceso de la inspección.
- La información del proceso de la inspección previo a la ejecución del mismo reporta beneficios interesantes. El usuario conoce las razones de la inspección y los requisitos que debe cumplir, lo que facilita y mejora la eficiencia del proceso.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de las Unidades de Inspección TIAF y FITOTECNICS por la cesión de los datos para la elaboración de este estudio.

Bibliografía

- Gil E., Gracia F., Escolá A. 2011. Manual de inspección de equipos de aplicación de fitosanitarios en uso. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Gil, E., Montemayor, V., Gracia, F., 2012. The official procedure for mandatory inspection of sprayers in use in Spain. How to deal with regional autonomous authorities. In Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe – SPISE 4 -, Lana (Italy), March 27-29, 2012.
- Jiménez, A., García-Ramos, F.J., Vidal, M., Boné, A., 2013. Propuesta de aplicación informática y hardware para la inspección técnica de equipos de aplicación de fitosanitarios. VII Congreso Ibérico de AgroIngeniería. Madrid, 26-29 agosto 2013.
- Jiménez, A., 2014. Desarrollo de una aplicación informática para la inspección técnica de equipos de aplicación de productos fitosanitarios. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.
- Langenakens J. 2010. AAMS Documentación. Reunión Grupo de trabajo del MARM de técnicas y equipos de aplicación de productos fitosanitarios. Zaragoza.

M02 - Evaluación de la uniformidad de distribución en equipos para la aplicación de microgránulos en el suelo

Torregrosa, A.¹; Martínez, P.¹, Pérez, M.¹, Ortiz C.¹

¹ Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Camino de Vera s/n 46022 Valencia, torregro@dmta.upv.es

Resumen

Se comprobó la uniformidad de la distribución de una máquina usada para la aplicación de microgránulos en la desinfección de suelos. La máquina original disponía de un distribuidor neumático, que presentó un patrón de distribución muy irregular (coeficiente de variación 27-63 %). Como alternativa, se probó un distribuidor mixto: gravedad-neumático, que mejoró la distribución (coeficiente de variación 12- 18 %). Esta máquina, se comparó con otra experimental que distribuía el producto por gravedad. En esta segunda, aunque la calidad de la distribución fue parecida a la del distribuidor mixto (coeficiente de variación 13-16 %), también se apreciaron problemas cuando la limpieza y el manejo de la máquina no fueron adecuados. Por otra parte, se observó la capacidad de incorporación al suelo, de trazadores previamente esparcidos en superficie, mediante dos fresadoras, una con cuchillas en 'L' y otra con cuchillas casi rectas. En ambos casos, las cuchillas se montaron en discos rectos alineados con el sentido de avance de la máquina. Se observó que tras el pase de las fresadoras, los trazadores presentaron muy poco movimiento lateral. Por lo que se puede concluir que si el sistema distribuidor no reparte uniformemente el producto, el fresado posterior, con fresadoras convencionales, no será capaz de enmendar los fallos del distribuidor. En profundidad la distribución siguió un patrón aproximado de 50%, 30% y 20% para los niveles tercio superior, medio e inferior respectivamente. Se trata de máquinas que aplican productos caros y potencialmente peligrosos para los operarios y el medio ambiente, con lo que debiera prestarse mucha más atención al correcto funcionamiento de las mismas.

Palabras clave: desinfección, fitosanitario, fresadora

Distribution uniformity evaluation of microgranules application equipment

Abstract

The uniformity of a used machine for microgranules application in soil disinfection was tested. The original machine had a pneumatic distributor that presented a very irregular distribution pattern (variation coefficient of 27-63%). A gravity-pneumatic mixed distributor was tested as an alternative to the initial one and it showed an improvement in the product distribution (variation coefficient of 12-18%). The machine was compared to an experimental machine with a gravity distributor. The distribution quality was similar to the mixed distributor machine (variation coefficient of 13-16%). This second machine showed some problems when it did not have an adequate maintenance and cleanliness. On the other hand, the distribution pattern of spherical markers previously spread on the soil surface was tested. Two rotary tillers were used, one with 'L' blades and the other with straight blades, mounted on straight discs aligned with the movement direction. It was observed that after tillage the markers showed a very low lateral movement. If the microgranule machine distributor does not uniformly spread the product, the conventional rotary tiller work will not solve the distributor failure. Referring to the working depth, the distribution followed approximately a 50%, 30% and 20% pattern for the high, medium and low levels respectively. As these machines deal with expensive and potentially dangerous products for humans and the natural environment, their proper use should be carefully heeded.

Keywords: disinfection, phytosanitary, rotary tiller

Introducción

En este trabajo se estudió la uniformidad de la distribución de microgránulos en el suelo con máquinas consistentes en un distribuidor superficial combinado con una fresadora para la incorporación al suelo. Se ha podido observar que las máquinas que están

usando los agricultores mezclan el producto de forma menos homogénea de lo inicialmente esperado, pudiendo ser este hecho un problema serio, ya que, además del alto coste económico que supone una mala aplicación del producto, esta actividad presenta un elevado riesgo ambiental, debido a que las materias activas utilizadas son altamente tóxicas. Su modo de acción suele consistir en una reacción química, en la que el formulado, por acción de la humedad del suelo, se transforma liberando gases que inactivan los patógenos. Es muy importante que el suelo esté bien disgregado (sin terrones) y el producto bien distribuido para que pueda circular por todos los huecos del suelo y ejercer su acción (Jiménez y Zanón, 2012).

Para la evaluación de la calidad de la distribución e incorporación al suelo, se han usado técnicas como la espectrofotometría (Carter *et al.*, 1963), trazadores magnéticos (Futral y Ladd, 1966), radioisótopos (Hulburt y Mengel, 1953) o prismas de PVC (Solhjou *et al.*, 2012).

El sistema de distribución puede ser un simple tubo de caída desde el dosificador o bien un sistema que, a partir de un único dosificador, repartir el producto dosificado entre varios tubos distribuidores. El funcionamiento de estos sistemas es complejo y puede dar lugar a problemas en la práctica. Así Stangl and Turnquist (1970) estudiaron dos distribuidores diferentes y comprobaron que funcionaban bien en estático, pero en trabajo eran muy sensibles a las vibraciones de la máquina.

Solie *et al.* (1994) llevaron a cabo un estudio comparativo de dos abonadoras neumáticas, una que a partir de un distribuidor central, mediante una corriente de aire hacía llegar el producto a los tubos de salida, y otra que vertía la dosis necesaria a una cinta transportadora y ésta a su vez disponía de 16 venturis acoplados a 16 tubos independientes a lo largo de la máquina, que hacían llegar el producto al suelo. Observaron que el coeficiente de variación del patrón de distribución de la máquina de distribución central fue ligeramente superior al de la máquina de tubos divididos, 19 y 17 % respectivamente, el patrón de distribución era afectado por la dosis en ambas máquinas, produciendo grandes picos a dosis altas (1200 kg/ha), un incremento de la velocidad del viento en el sistema de impulsión del distribuidor central, genera unos mejores patrones de distribución, el distribuidor rotativo de la máquina de distribuidor central provocaba atascamientos y pulsaciones que contribuyeron a la formación de picos en el patrón de distribución.

Fulton *et al.* (2005) evaluaron aplicadores de materiales granulados equipados con tecnología de dosis proporcional al avance: dos abonadoras centrifugas de discos y dos aplicadores neumáticos. Observaron unos patrones triangulares en las primeras y unos patrones más uniformes en las neumáticas, aunque una de las máquinas neumáticas produjo variaciones en el centro y en el lado derecho. Los aplicadores centrífugos presentaron unos coeficientes de variación del 19% y 27%, frente al 25% y 34% de los neumáticos. Estos resultados demuestran errores de aplicación potenciales con los sistemas de dosificación proporcional al avance y la necesidad de una calibración adecuada.

La incorporación del producto, previamente distribuido en la superficie del suelo, suele realizarse con aperos rotativos (fresadoras, cavadoras, gradas de discos, gradas rotativas) o arrastrados (cultivadores, gradas de discos...). Juzwik *et al.* (1997) evaluaron la incorporación de Dazomet (desinfectante microgranulado) y trazadores identificativos con tres fresadoras y una cavadora.

Los trazadores eran esferas cerámicas de unos 3 mm de diámetro, las cuales se depositaron en superficie previamente al laboreo. Se trabajó con una profundidad máxima de unos 30 cm. Una vez labrado el terreno, se muestreó el suelo hasta los 30 cm de profundidad. Posteriormente se procedió al conteo de las esferas encontradas en las muestras con el fin de evaluar la distribución de las mismas.

Por otra parte, el Dazomet fue aplicado en bandas de 1.7 x 154 m y una vez incorporado al suelo, tras el laboreo, se procedió a la compactación de la superficie. Se tomaron muestras de tierra transcurridos diez días y se sembraron con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. 'Black Seed Simpson') para observar la nascencia con el fin de establecer una relación entre la mortalidad de las plantas y la presencia de Dazomet. Se observó que la cavadora fue la máquina que más uniformemente incorporó los trazadores en los 30 cm de profundidad que se estudiaron.

En la germinación de semillas de lechuga se observó que para las cuatro máquinas ensayadas, las semillas no germinaban en los primeros 12 cm de profundidad, por lo que se puede deducir que en los 12 primeros cm, las cuatro máquinas incorporaron bien el Dazomet. La máquina que distribuyó producto a mayor profundidad fue la cavadora, inhibiendo la germinación de semillas hasta los 24 cm. Cabe destacar que los resultados de germinación no fueron proporcionales a la cantidad de producto, si no que en las muestras en las que había producto a la dosis adecuada o superior, la germinación fue del 0% mientras que en las que la dosis del producto fue insuficiente, la germinación fue del 100%.

Smelt *et al.*(1976) estudiaron como diferentes equipos de laboreo enterraban y homogenizaban un fitosanitario granulado esparcido previamente sobre el suelo mediante una abonadora neumática aplicando una dosis de 100 kg/ha. Usaron fresadora con cuchillas en L, fresadora de púas, grada horizontal accionada, cultivador de muelles y grada alternativa accionada por la toma de fuerza. Las fresadoras fueron las que más profundidad alcanzaron con un máximo de 20 cm y la grada alternativa accionada la que menos, con profundidades entorno a 6-8 cm.

La fresadora con cuchillas en L fue la máquina que mejor distribuyó el producto, seguida de la fresadora de púas. La grada horizontal rotativa accionada fue la herramienta que peor uniformidad de distribución consiguió. En la grada rotativa se observó que su distribución fue efectiva en profundidades de no más de 10 cm para los suelos de arena de turba y arenas orgánicas. La grada accionada y el cultivador de muelles, seguidos de la grada rotativa, dieron para el suelo franco arcillo-arenoso un aglutinamiento del producto en las capas superiores (primeros 5 cm). Finalmente concluyeron que la fresadora de cuchillas en L fue la máquina que permitió trabajar a mayor profundidad y que mejor distribución obtuvo con una sola pasada, siendo esta la herramienta más aconsejable para distribuir microgránulos en el suelo. Le siguió la fresadora de púas que consiguió, en menor medida, incorporar producto en profundidad. El cultivador de muelles fue la herramienta que dio una distribución horizontal más irregular. La grada horizontal accionada, la grada rotativa, el cultivador de muelles y la grada alternativa, no consiguieron distribuir gránulos en profundidad.

En este trabajo se ha analizado la calidad de la distribución de microgránulos de una máquina existente en el mercado, ampliamente utilizada en el Sur de Europa para la desinfección de suelos para cultivos hortícolas, se ha comparado con otras máquinas alternativas y se han realizado sugerencias para su mejor trabajo.

Materiales y métodos

Máquinas ensayadas

Se ha ensayado una máquina comercial de desinfección de suelos que dosifica e incorpora a la vez el producto, que es la que se ha tomado como referencia (Máquina 1). Esta máquina es el conjunto de dos máquinas individuales, una máquina distribuidora de microgránulos y una fresadora (fresadora 1).

La máquina anterior se ha comparado con otras dos máquinas del mercado:

- una máquina de desinfección (Máquina 2), constituida también por un sistema de distribución de microgránulos y una fresadora, de la que se ha ensayado sólo el distribuidor.
- una fresadora convencional (fresadora 2)

Máquina 1

El sistema de distribución de microgránulos está formado por dos elementos gemelos. Cada uno cuenta con una tolva troncocónica de 120 L de capacidad. En el fondo de la tolva hay un orificio que comunica con el dosificador y también hay un agitador mecánico que evita el apelmazamiento del producto.

El dosificador es un cilindro con alveolos que está accionado mediante un motor hidráulico, cuya velocidad está regulada por una electro-válvula, que a su vez es gestionada por un ordenador que recibe impulsos de los sensores de proximidad de la rueda del terreno y del eje del dosificador.

El producto dosificado, cae a un distribuidor, que dispone de 6 salidas conectadas a 6 tubos de PVC que transportan el producto a la parte delantera inferior de la máquina. En el extremo de cada tubo hay un difusor en forma de “cola de pez” con el fin de que el producto quede en una banda uniforme en el suelo y posteriormente sea enterrado por la fresadora.

La máquina dispone de una fresadora accionada por la toma de fuerza del tractor que gira en sentido inverso a la marcha. Tras la fresadora hay unos escudos alisadores del suelo y un rodillo hidráulico que gira en sentido inverso a la marcha y que ayuda a sellar terreno fresado. El ancho de trabajo de la fresadora es 2.30 m.

En esta máquina se ensayaron dos distribuidores diferentes, el original de tipo neumático y un nuevo modelo mixto gravedad-neumático.

En el distribuidor neumático, el producto cae del dosificador a una cámara por la que circula el viento generado por un ventilador que recibe corriente del sistema eléctrico del tractor. La distribución del producto se produce repartiendo por los diferentes tubos de salida el aire cargado con los microgránulos en suspensión.

En el distribuidor mixto, el producto procedente del dosificador, cae a un plano inclinado con 6 separadores, de modo que por gravedad, se distribuye el producto entre las 6 salidas, uniéndose a partir de aquí al aire procedente del ventilador, que es el encargado de transportar la suspensión por los tubos distribuidores.

Máquina 2

Esta máquina es un prototipo formado por un sistema de distribución de microgránulos formado por una tolva de 300 L, con ancho igual al de trabajo de la máquina, un dosificador formado por ruedas dentadas situadas a lo largo de toda la base de la tolva, separadas 10 cm entre sí, y unos tubos verticales que conducen el producto hasta el suelo por gravedad. El sistema de distribución de microgránulos está montado sobre una fresadora que es la encargada de la incorporación del producto en el terreno. Ésta gira en sentido inverso al del avance del tractor, tiene cuchillas en forma de L. El conjunto tiene un ancho de trabajo de 2.9 m.

Es una máquina muy pesada (unos 2600 kg) que exige un tractor de al menos 150 CV de potencia.

La dosificación se consigue con un ordenador sincronizado con la rueda del distribuidor mediante un sensor inductivo pero no dispone de sensor de velocidad de avance de la máquina, con lo que su dosificación no es proporcional a la velocidad de trabajo.

Por otra parte se comprobó la capacidad de incorporación del producto al suelo de dos fresadoras:

Fresadora 1

Es la fresadora que monta la máquina 1. Tiene un ancho de trabajo de 2.3 m, monta 11 discos separados 20 cm, los cuales a su vez, portan 6 cuchillas cada uno siendo éstas casi rectas (122°). La gira en sentido inverso al de las ruedas del tractor.

Fresadora 2

La fresadora 2 es una máquina independiente de las máquinas de aplicación de microgránulos. Tiene un ancho de trabajo de 2.15 m, dispone de 8 discos separados 29 cm, los cuales a su vez, montan 6 cuchillas. Las cuchillas tienen forma de L. La dirección de giro de la fresadora es el mismo que el de las ruedas del tractor.

Materiales de laboratorio utilizados en los ensayos

Todas las máquinas, excepto la máquina 2, fueron accionadas por un tractor John Deere modelo 5820 de doble tracción y 66 kW de potencia (www.deere.es).

Para medir la distribución horizontal del producto liberado por los tubos de caída, se utilizó un banco de pulverizadores portátil de la marca AAMS (www.aams-iberica.com) de 3 m de largo por 0.77 m de ancho y con canales cada 5 cm.

Se utilizó azúcar (densidad aparente 0.94 kg/l, partículas prismáticas de 1 mm de lado y ángulo de rozamiento interno de 36°) para medir la uniformidad de la dosificación y distribución horizontal de las máquinas distribuidoras, y esferas de PVC (densidad aparente 0.64 kg/L, 6 mm de diámetro y 0.12 g/unidad) y de acero (densidad aparente 7.9 kg/L, 3 mm de diámetro y 0.15 g/unidad) para estudiar la distribución en el suelo que realizaban las fresadoras (Figura 1).

Los ensayos de las fresadoras se realizaron en un suelo de textura franco-arenosa, libre de hierbas y piedras, que estaba muy seco (2.8 % a 7.6% de humedad). La densidad aparente osciló entre 1.41 kg/L y 1.23 kg/L.

Metodología seguida para medir la distribución del producto en el suelo

El proceso que se siguió para determinar la distribución del producto en el suelo tras el pase de las fresadoras consistió en:

- 1) Fresado del suelo con la fresadora a ensayar, para unificar las condiciones de compactación del mismo.
- 2) Toma de muestras inalteradas de suelo para medir la densidad aparente y la humedad.
- 3) A continuación, se colocó en el suelo una rejilla de acero de 300 cm de largo por 36 cm de ancho, con cuadrículas de 3.25 x 3.25 cm., con el lado largo perpendicular al sentido de la marcha del tractor. Se colocaron 10 bolitas de PVC y 10 bolitas de acero en 3 filas y 10 columnas de la rejilla en la zona central de la rejilla y en filas alternas.
- 4) Se retiró la rejilla y se fresó el terreno.
- 5) Tras el pase del tractor se buscaron las bolitas que se podían ver en superficie (PVC) o que eran atraídas por un imán que se pasó rozando la superficie del suelo. En el sentido de avance del tractor se marcaron los siguientes tramos: 1 tramo del ancho de la rejilla y luego tramos de 20 cm de ancho por delante y por detrás de la rejilla.
- 6) A continuación se fueron recogiendo prismas de suelo en profundidad según la cuadrícula del paso anterior, por niveles: 0-7.5 cm, 7.5-15 cm y 15 cm – suela de labor.

Resultados y Discusión

A continuación se detallan los resultados de los ensayos realizados con cada tipo de distribuidor y fresadora, en los que se han analizado los principales factores: dosificación y distribución del producto y su incorporación al suelo. Se analiza primero el comportamiento de los sistemas de dosificación y distribución, y luego la incorporación al suelo mediante las fresadoras.

Distribución horizontal del distribuidor neumático (máquina 1)

Se realizaron 6 ensayos, con varias dosis y velocidades de avance, pero en todos los casos se obtuvo una gran irregularidad según un perfil horizontal de distribución, con unos coeficientes de variación globales comprendidos entre el 36 y el 79% (ensayos 1 a 6 figura 1).

Distribución horizontal del distribuidor mixto ((máquina 1)

Con este distribuidor se realizaron 5 ensayos, siendo los resultados obtenidos mucho mejores que los de la máquina anterior, unos coeficientes de variación comprendidos entre el 12 y el 27% (ensayos 7 a 11 de la figura 1). Aunque en algunos ensayos la uniformidad alcanzada fue alta (12-13%), en ciertas situaciones de dosificación y de inclinación de la máquina, las cifras empeoraron.

Distribución horizontal del distribuidor por gravedad (máquina 2)

Los coeficientes de variación de la distribución horizontal estuvieron comprendidos entre el 13 y el 16 %. Los valores pueden considerarse buenos, pero en un unas zonas (10 cm ancho) dieron unos valores inferiores al resto, debido a obturaciones en un tubo de caída. Debido a que las ruedas dentadas son muy estrechas, esta máquina podría

presentar problemas de obturaciones si no se vigilan la presencia de impurezas o la formación de terrones.

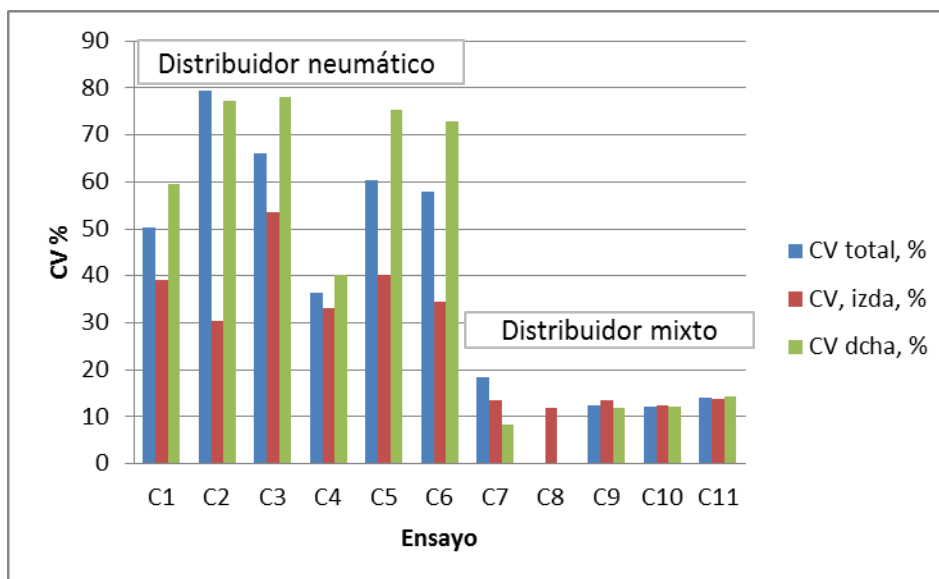


Figura 1. Coeficientes de variación de todos los ensayos realizados con los distribuidores neumático y mixto.

Ensayo de las fresadoras

Comportamiento de los dos tipos de trazadores

En un primer ensayo se observó que las esferas de acero alcanzaron mayores profundidades que las de PVC, pero las diferencias no fueron muy grandes, con lo que se optó por usar las bolas de PVC como trazadores al ser más baratas y fáciles de recuperar.

En la zona superficial del suelo, los trazadores de PVC llegaron a grandes distancias (más de 10 m) del punto de aplicación, supuestamente arrastradas por los escudos de las fresadoras, este fenómeno se acentuó aún más cuanto más húmedo estuvo el suelo, encontrándose bolitas de PVC a más de 50 m del origen, en estos casos; posiblemente porque viajaron adheridas a las máquinas.

En las capas profundas, ambos trazadores alcanzaron distancias longitudinales similares, entre los 0.6 m anteriores al punto de aplicación y hasta 1 m a continuación de éste, según el sentido de giro de la máquina, hacia atrás o hacia adelante respectivamente, estando la mayor concentración en la zona donde se habían localizado inicialmente o muy próximos a ella.

Distribución lateral de los trazadores.

En la zona central (33 cm) se encontró más del 85% de los trazadores (figura 2), entre un 8 y un 15 % se encontró en los siguientes 17 cm situados a cada lado de la zona central y más allá de esta distancia, prácticamente no se encontró ninguna bola. Por lo tanto, con los dos tipos de fresadoras ensayados, no se produjo prácticamente desplazamiento lateral de los trazadores, siendo muy importante conseguir una buena distribución horizontal del producto previo a su enterrado, para asegurar una distribución uniforme en el suelo. ya que ambas fresadoras, montan las cuchillas en un disco perpendicular al eje de rotación, produciendo muy poco movimiento lateral del terreno.

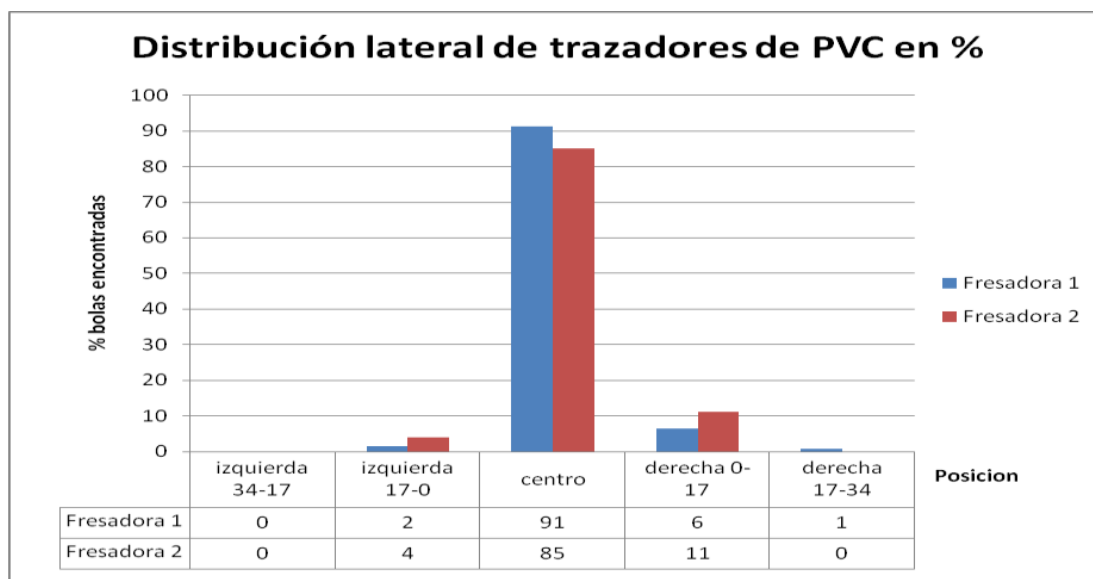


Figura 2. Distribución lateral de las bolas de PVC (%).

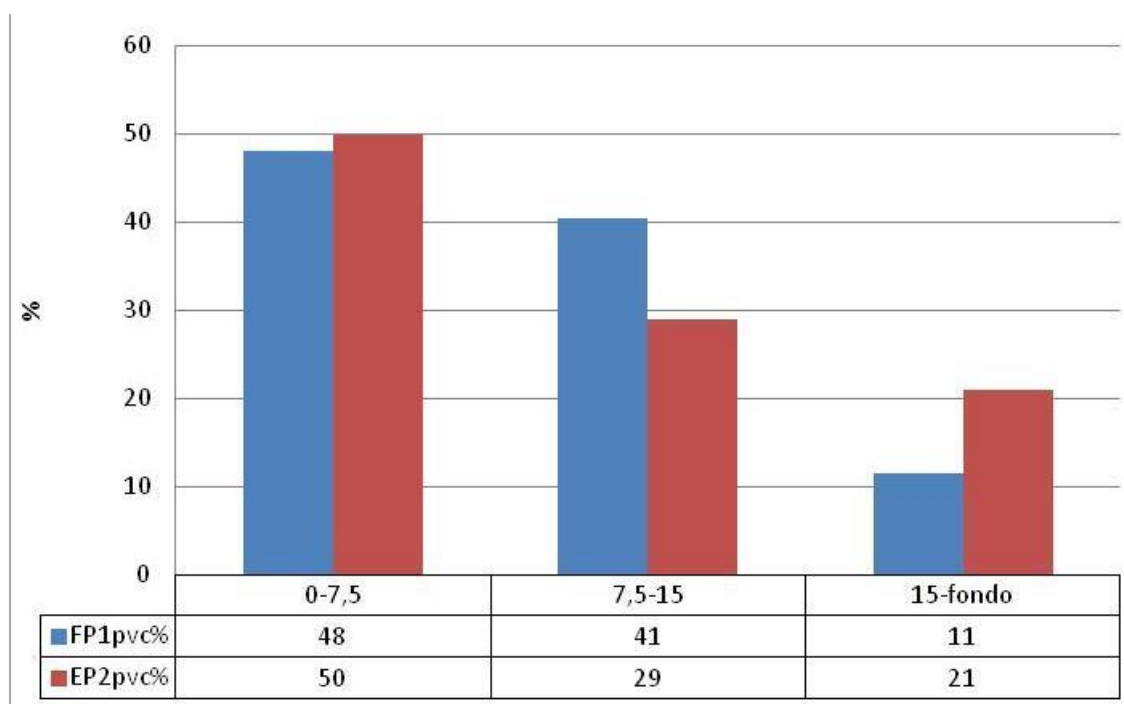


Figura 3. Distribución en profundidad de los trazadores.

Distribución en profundidad de los trazadores

La fresadora 1 alcanzó los 24 cm de profundidad dejando una suela de labor acanalada (cuchillas casi rectas) y la fresadora 2 alcanzó los 34 cm y formó una suela plana (cuchillas en L). En el caso de la primera, la distribución se concentró en los primeros 15 cm (89%) alcanzando tan sólo un 11% la zona más profunda. En el caso de la segunda máquina, al profundizar más, llegó una mayor cantidad de producto a esa zona, siguiendo un patrón aproximado de distribución en profundidad 50-30-20 (figura 3).

Por lo tanto, aunque ambas fresadoras consiguieron localizar una fracción del producto en las capas profundas, la mayor parte del mismo permaneció en la zona más superficial.

Conclusiones

El distribuidor neumático presentó unos patrones de distribución muy irregulares con unos coeficientes de variación que oscilaron entre el 36-79 %, lo cual es incompatible con una buena distribución del producto.

El distribuidor mixto distribuyó el producto más uniformemente que el anterior, con unos coeficientes de variación del 12-18%.

El distribuidor por gravedad presentó unos coeficientes de variación del 13 al 16 %, similares a los del distribuidor mixto.

Ninguna de las dos fresadoras ensayadas desplazó lateralmente los trazadores de forma importante, con lo que la uniformidad de la distribución horizontal, depende del sistema de distribución.

Los trazadores no se distribuyeron homogéneamente en profundidad, se concentraron en las capas más superficiales del suelo, llegando unos porcentajes de tan sólo el 10-20% a las zonas profundas.

Agradecimientos

CERTIS EUROPE por la financiación de este trabajo.

Bibliografía

- Carter, L.M., Miller, J.H., Colwick, R.F., 1963. Soil incorporation of herbicides with powered rotative devices. ASAE Paper 63-105, ASAE, St. Joseph, Mich. 490085.
- Fulton, J.P., Shearer, S.A., Higgins, S.F., Hancock, D.W., Stombaugh, T.S., 2005. Distribution pattern variability of granular VRT applicators. Transaction of ASAE. Vol. 48(6): 2053-2064.
- Futral, J.G., Ladd, T.B., 1966. Technique and equipment for measuring the incorporation of chemical into soil. Georgia Agricultural Experiment Station Bulletin No. 173.
- Hulburt, W.C., Mengel, R.G., 1953. Soil missing characteristic of tillage implements. Agricultural Engineering. 34: (10) 702.
- Jiménez, F., Zanón, M.J., 2012. Aplicación de Basamid (dazomet) en el cultivo de la fresa: actualización de información técnica y novedades en su desarrollo. Jornada Técnica IFAPA. Certis. 63 pp.
- Juzwik, J., Stenlund, D.L., Allmaras, R.R., Copeland, S.M., McRoberts, R.E., 1997. Incorporation of tracers and dazomet by rotary tillers and a spading machine. Soil and tillage research. 41: 237-248.
- Smelt, J.H., Verman, S., Leistra, M., 1976. Mechanical incorporation in soil surface-applied pesticide granules. Neth, J. Pl. Path. 82: 89-94.
- Solie, J.B., Whitney, R.W., Border, M.F., 1994. Dynamic pattern analysis of two pneumatic granular fertilizer applicators. Applied Engineering in Agriculture. 10(3): 335-340.
- Solhjou, A., Fielke, J.M., Desbiolles, J., 2013. Soil translocation by narrow openers with various blade face geometries. Biosystems Engineering, Vol 114 (3): 259-266.
- Stangl, G.A., Turnquist, P.K., 1970. Distribution analysis of two granular pesticide applications. Transaction of ASAE. 13 (6): 715-717.

M03 - Curvas de desprendimiento en la recolección mecanizada de oliva mediante el análisis de las imágenes de las ramas en movimiento

Ortiz, C.¹; Torregrosa, A.¹, Pérez, M.¹, Paz, S.²

¹ Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, cortiz@dmata.upv.es, torregro@dmata.upv.es, montano@upvnet.upv.es; ² Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Carretera Moncada-Náquera, Km. 4,5, 46113 Moncada (Valencia), paz_ser@gva.es

Resumen

En la recolección mecanizada de oliva mediante vibrador de troncos, la frecuencia de vibrado, el tiempo de vibrado y el número de vibraciones son parámetros fundamentales para el correcto funcionamiento del equipo. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación del derribo de olivas en función del tiempo mediante el análisis de los videos de desprendimiento. Olivos de la variedad 'Villalonga', en una parcela en Moncada (Valencia) fueron vibrados con un tractor frutero con un vibrador orbital Topavi. De los árboles vibrados, 14 grabaciones a alta velocidad de una rama superior vertical, fueron seleccionadas, 7 de árboles vibrados a 20 Hz durante 3 s (B) y 7 vibrados a 15 Hz durante 5 s (C), realizando 1, 2 o 3 vibraciones consecutivas con un descanso de 3 s. Debido a la situación y ángulo de las ramas solo en dos casos fue necesaria una segunda vibración para el desprendimiento de todos los frutos. En ambos casos la fruta no desprendida, cayó rápidamente al inicio de la segunda vibración. En todos los casos, menos en uno, se produjo el desprendimiento del 80% de los frutos antes de 1 s, con una media de 0,77 s. Y una media de 1,28 s para el desprendimiento del 100%. No se encontraron diferencias significativas entre los valores de los dos tipos de vibración, B y C. La evolución del porcentaje de desprendimiento en función del tiempo se ajustó a una curva multiplicativa del tipo $y=k \cdot x^a$, con un R^2 medio de 99,4 %. No se encontraron diferencias significativas entre los coeficientes k y a de los dos tipos de vibración. El desprendimiento de las olivas de las ramas verticales de la parte superior del árbol se produce de forma no lineal en un tiempo bastante inferior al tiempo total de vibrado.

Palabras clave: fruta, derribo, evolución, patrón, video

Fruit detachment according to time during olive mechanical harvesting assessed by movement image analysis

Abstract

In olive mechanical harvesting with a trunk shaker, vibration frequency, vibration time and number of vibrations are the crucial parameters for the proper use of the machine. The objective of the present study was to evaluate olive detachment according to time using video analysis. Olive trees from the 'Villalonga' variety, grown in Moncada (Valencia), were shaken with an orbital Topavi trunk shaker mounted on a fruit tractor. From the shaken trees, 14 high speed video recordings from high vertical branches were selected, 7 shaken at 20 Hz during 3 s (B) and 7 shaken at 15 Hz during 5 s (C), with 1, 2 or 3 consecutive vibrations with a 3 s delay. Due to the branch angle and the location on the tree, only in two cases a second vibration was needed to detach the 100 % of the fruit. In both cases, the non detached fruits were detached just at the beginning of the second vibration. In all the branches, except one, the 80 % of the fruit was detached in less than 1 s, with an average time of 0.77 s. And an average time of 1.28 s for detaching the 100 % of the fruit. No significant differences were found between the times of the two vibration types (B and C). The relation between detachment percentage and time followed a multiplicative curve, $y=k \cdot x^a$, with an average R^2 of 99.4 %. No significant differences were found between the "K" and "a" coefficients from the two vibration types (B and C). The detachment of the olives from the high vertical branches follows a non linear pattern with a lower detachment time than the total tree vibration time.

Keywords: fruit, development, pattern, video

Introducción y/o Justificación

Para la recolección mecanizada de olivas se utilizan equipos de vibración de troncos o ramas, o equipos de peinado de las ramas. En el caso de los vibradores de troncos, la frecuencia de vibrado, el tiempo de vibrado y el número de vibraciones son parámetros fundamentales para el correcto funcionamiento del equipo. Sin embargo el comportamiento frente a la vibración se ve afectado por la variedad, la campaña y la estructura del árbol.

La determinación de los tiempos de vibrado óptimos es un aspecto crucial para mejorar la recolección mecanizada y ha sido previamente estudiado (Agrela *et al.*, 2001, Blanco, 2002; Blanco *et al.*, 2009).

Kouraba (2005) trabajando con olivos cultivados en Córdoba, variedades 'Picual' y 'Hojiblanca', determina que el tiempo óptimo de vibrado varía con el momento de recolección, 14 s al principio de campaña y 11 s al final, para el derribo del 90% de la fruta. Los porcentajes de derribo y tiempo de vibrado óptimos están relacionados con la fuerza de retención del fruto y con el índice de maduración. También concluye como es mejor realizar dos vibraciones cortas de 10 s cada una, que una sola vibración continuada de 20 s.

Ensayos realizados con otros frutos, como los cítricos, muestran que el porcentaje de derribo por sistemas vibratorios suele seguir una curva logarítmica con una gran caída de frutos en los primeros 2-3 s (Mateev y Kostadinov, 2004; Ortiz y Torregrosa, 2013).

En la recolección de oliva, Leone *et al.* (2015) utilizaron un vibrador de troncos para determinar la frecuencia y el tiempo óptimos de vibrado para maximizar el porcentaje de derribo. Concluyen que el porcentaje de derribo frente al tiempo presenta una evolución sigmoideal y determinan que el tiempo óptimo de vibrado está entre 6 y 8 segundos para las variedades estudiadas.

El presente estudio se enmarca dentro de un trabajo de investigación que se lleva desarrollando durante tres campañas en la Comunidad Valenciana para el estudio de la recolección mecanizada de olivos de diferentes variedades.

El objetivo planteado en este estudio es la determinación de la evolución del porcentaje de derribo de oliva frente al tiempo utilizando grabaciones a alta velocidad de ramas verticales con buena transmisión de la vibración.

Material y Métodos

Los ensayos se llevaron a cabo en una parcela de la finca del Servicio de Desarrollo Tecnológico del IVIA, sita en el término municipal de Moncada (Valencia).

La parcela de ensayo seleccionada está cultivada con olivos de la variedad 'Villalonga', con un marco de plantación de 6 x 7 m, que ocupa una superficie de 6 262 m², contiene 120 árboles, lo que supone una densidad de 238 árboles/ha. Las edades de los árboles están comprendidas entre los 13 y los 7 años, están formados a un solo pie y con una altura de cruz alrededor de 1 metro, para facilitar la recolección mecánica.

El equipo de derribo estaba formado por un tractor Lamborghini 990 F, frutero de doble tracción y 66 kW, provisto de enganche tripuntal delantero, al que se le acopló un vibrador orbital Topavi, modelo 'brazo soporte vibrador' (Maquinaria Garrido S.L. Autol-

La Rioja) con agarre al tronco por tres puntos. La altura de agarre de la pinza al tronco fue de 0,7 m.

En este ensayo se establecieron dos frecuencias de vibración, 15 Hz (15,7 Hz reales y desplazamiento de 1,3 cm) y 20 Hz (18,3 Hz reales y desplazamiento de 0,9 cm), vibraciones de 3 s y 5 s y número de vibraciones entre 1 y 4, Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de los ensayos realizados.

Ensayo	Hz	duración de cada vibración (s)	tratamientos	repeticiones/trat (árb. totales)	Tiempo acumulado vibración (s)	Ciclos /árbol
Ensayo C	15	5	5	6 (18)	5	75
			5+5		10	150
			5+5+5		15	225
Ensayo A	15	3	3+3	6 (24)	6	90
			3+3+3		9	135
			3+3+3+3		12	180
			3+3+3+3+3		15	225
Ensayo B	20	3	3	6 (18)	3	60
			3+3		6	120
			3+3+3		9	180

De los árboles vibrados, se escogieron 14 grabaciones a alta velocidad de una rama superior vertical, debido a su mayor visibilidad, 7 de árboles vibrados a 20 Hz durante 3 s (B) y 7 vibrados a 15 Hz durante 5 s (C), realizando 1, 2 o 3 vibraciones consecutivas con un descanso de 3 s. Se representan marcados en rojo en la Tabla 1. Las grabaciones de alta velocidad se realizaron con una cámara Casio EXF1 (www.exilim.com) a 300 fotogramas por segundo y una resolución de 512 x 384 píxeles.

Para la comparación de los datos registrados en las grabaciones con los datos de campo, se presenta también en este estudio la evaluación del porcentaje de derribo en función del tiempo con los datos de los frutos recolectados en campo. Para ello, se recogió y pesó para cada árbol del estudio la aceituna que había caído antes de la vibración de forma natural, la aceituna derribada mecánicamente con la vibración y la aceituna dejada en el árbol después de la vibración.

Resultados y Discusión

Los resultados de frutos recogidos en campo mostraron, 10,41 kg/árbol (13,0 %) como valor medio de los frutos caídos antes de la recolección, 56,8 kg/árbol (70,7 %) como valor medio de fruta derribada mecánicamente con la vibración y 13,1 kg/árbol (16,3 %) como la aceituna dejada en el árbol después de la vibración.

La Figura 1 muestra la relación con datos de campo del porcentaje de derribo con el tiempo de vibrado, para las dos frecuencias empleadas.

Como para el estudio de las grabaciones, las ramas fueron escogidas por su buena transmisión de la vibración, ramas verticales hacia arriba, solo en dos casos fue necesaria una segunda vibración para el desprendimiento de todos los frutos. En ambos casos la fruta no desprendida, cayó rápidamente al inicio de la segunda vibración, Figura 2.

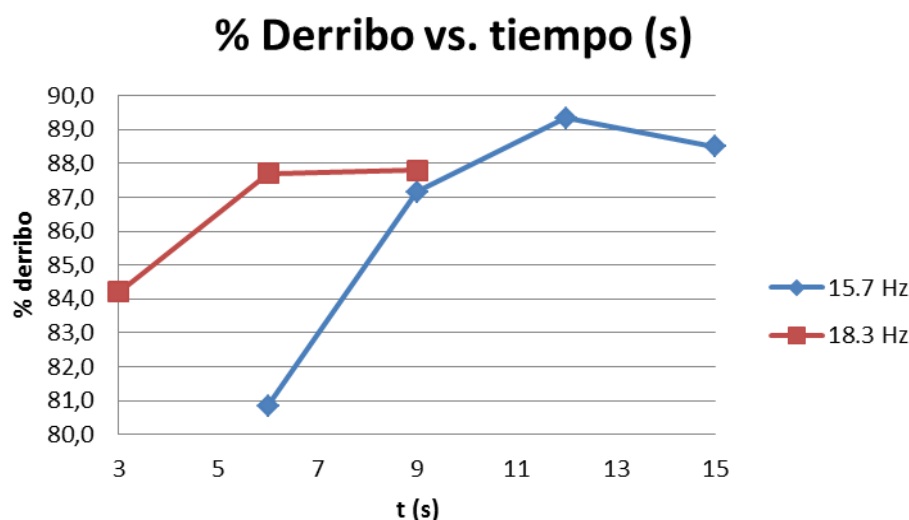


Figura 1. Relación entre el porcentaje de derribo acumulado medido en campo y el tiempo de vibración, para las dos frecuencias de vibración utilizadas.

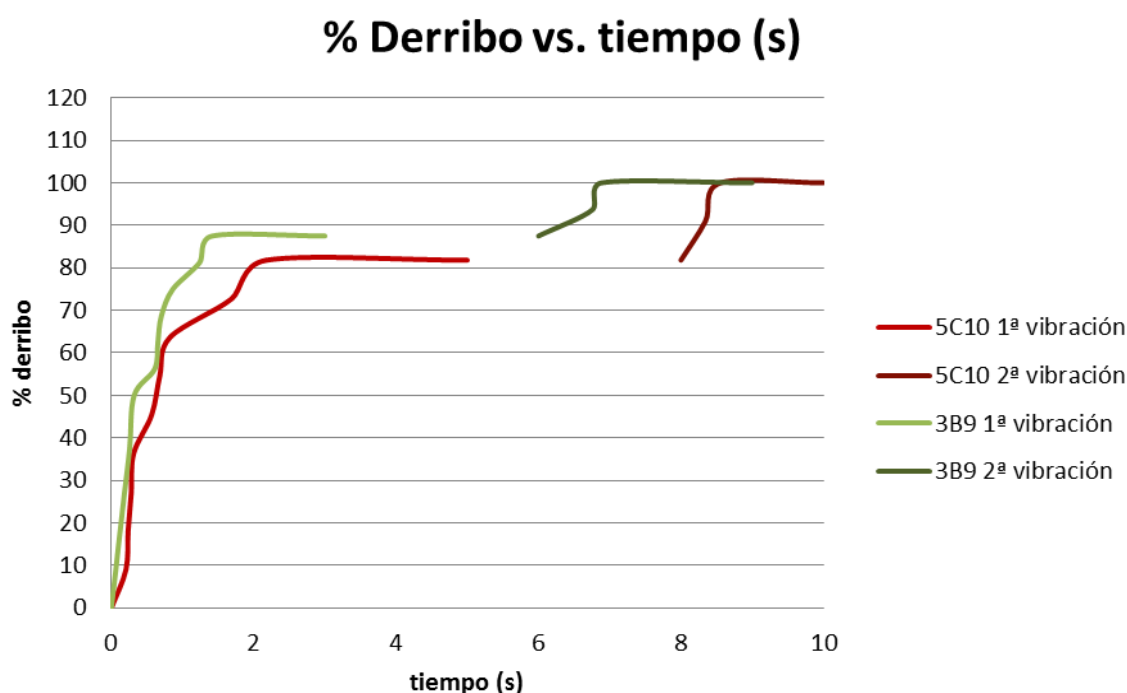


Figura 2. Porcentaje de derribo acumulado (%) a lo largo del tiempo, para los árboles 5 del tratamiento C (5C) y 3 del tratamiento B (3B), vibrados durante 5 y 3 segundos en una primera vibración y posteriormente, después de 3 segundos de espera, una segunda vibración.

En todos los casos, menos en uno, se produjo el desprendimiento del 80% de los frutos antes de 1 s, con una media de 0,77 s, Figura 3. Y una media de 1,28 s para el desprendimiento del 100%.

La evolución del porcentaje de desprendimiento en función del tiempo, hasta alcanzar el 100%, se ajusta a una curva multiplicativa del tipo $y=k \cdot x^a$, con un R^2 medio de 99,4 % y error absoluto medio 0,73, Figura 4. Este resultado está en línea con el encontrado por Leone *et al.* (2015) en el que mostraban un ajuste sigmoideal del derribo de las olivas del árbol.

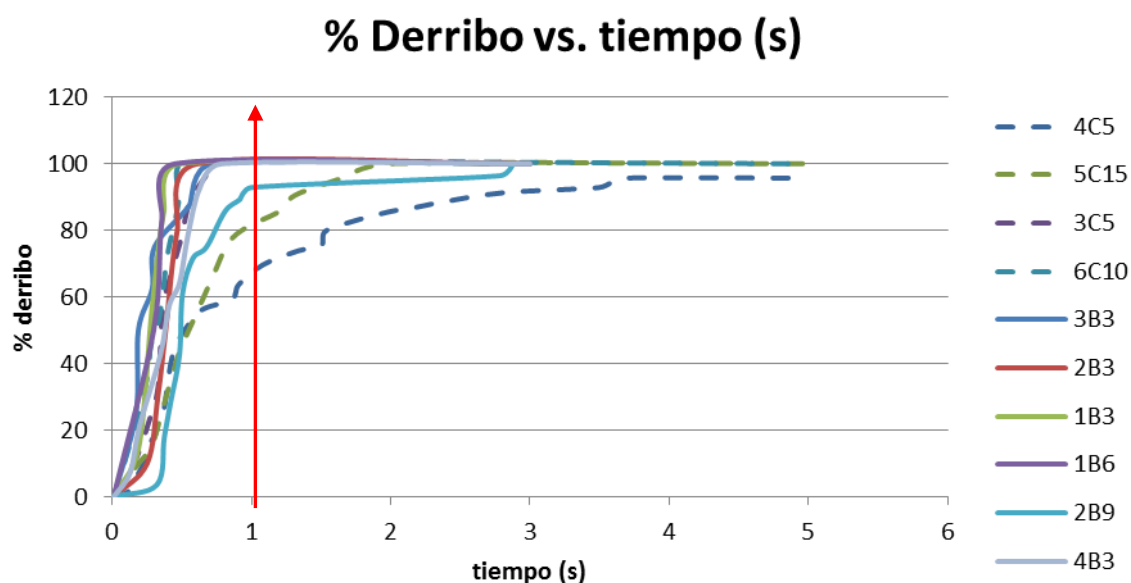


Figura 3. Porcentaje de derribo acumulado (%) a lo largo del tiempo, para los distintos árboles, frecuencias C (15 Hz) y B (20 Hz).

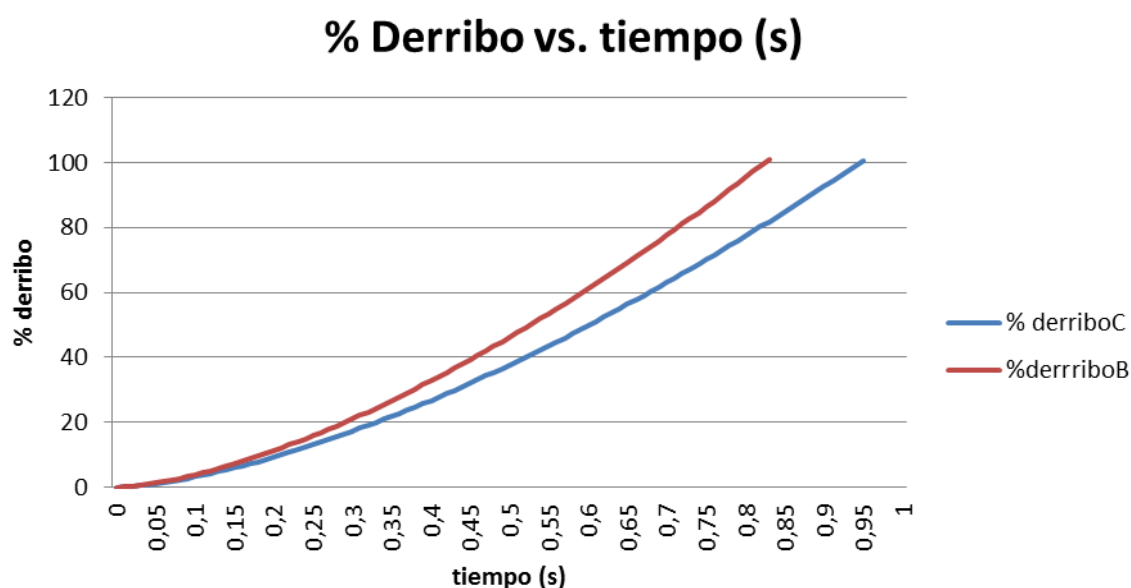


Figura 4. Curvas de ajuste multiplicativo hasta alcanzar el 100% de derribo, con los valores medios de “k” y “a” ($y=k \cdot x^a$) para la vibración C (15 Hz) y B (20 Hz).

A pesar de que se observa un crecimiento más acelerado del porcentaje de derribo con el tiempo para la vibración B (20 Hz) que para la C (15 Hz), no se pudieron encontrar diferencias significativas entre los valores de los dos tipos de vibración, Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes k y a de las curvas $y=k \cdot x^a$ para los dos tratamientos.

		k	a
C (15 Hz)	Media	4,690 ^a	1,530 ^b
	SD	0,651	0,025
B (20 Hz)	Media	4,902 ^a	1,541 ^b
	SD	0,380	0,014

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas.

Conclusiones

El estudio de los videos de alta velocidad de la vibración de las ramas se puede utilizar para evaluar la evolución del derribo de frutos frente al tiempo.

La evolución temporal del desprendimiento de las olivas de las ramas verticales de la parte superior del árbol se produce de forma no lineal, siguiendo una curva multiplicativa hasta alcanzar el 100% de derribo.

El tiempo de derribo, en las ramas verticales de la parte superior del árbol, es bastante inferior al tiempo total de vibrado, por la buena transmisión de la vibración que se produce hacia estas ramas.

Bibliografía

- Agrela, F., Gil, J., Plá, F., Blanco, G.L., Agüera, J., 2001. Análisis del tiempo de vibrado en olivar. I Congreso Nacional de Ingeniería para la Agricultura y el Medio Rural. Valencia (España).
- Blanco, G. L., 2002. Evaluación y análisis de la recolección del olivar por vibración. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- Blanco-Roldan, G.L., Gil-Ribes, J.A., Kouraba, K., Castro-García, S., 2009. Effects of trunk shaker duration and repetitions on removal efficiency for the harvesting of oil olives. *Applied Engineering in Agriculture*. 25(3), 329-334
- Kouraba, K., 2005. Análisis del tiempo de vibrado en el derribo de aceituna mediante vibradores de troncos. Tesis doctoral universidad de Córdoba. 182 pp.
- Leone, A., Romaniello, R., Tamborrino, A., Catalano, P., Pero, G., 2015. Identification of vibration frequency, acceleration, and duration for efficient olive harvesting using a trunk shaker. *Transactions of the ASABE* 58(1), 19-26
- Mateev, L.M., Kostadinov, G.D., 2004. Probabilistic model of fruit removal during vibratory morello harvesting. *Biosystems Engineering* 87(4), 425-435
- Ortiz, C., Torregrosa, A., 2013. Determining the adequate vibration frequency, amplitude and time for the mechanical harvesting of fresh mandarins. *Transactions of the ASABE* 56(1), 15-22.
- Torregrosa A., Paz S., Sanz J., Ortiz C., 2013. Tiempo óptimo de vibrado para el derribo de aceitunas Villalonga con un vibrador de masas de inercia. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid 26-29 Agosto 2013. 6 pp
- Tsatsarelis, C.A., Akriditis, C. B., Siatras, A.J., 1984. Clasification of olive varieties for effective mechanical harvesting. *Transactions of the ASAE*, 1669-1673.

M04 - Evolución del carbono orgánico del suelo (1983-2013) con tres sistemas de laboreo, en un monocultivo de cereal en ambiente semiárido.

Hernanz, J.L.¹; Navarrete, L.², Sánchez-Girón, V.³, Sánchez, M.J.²

¹ Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. ETS Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Ciudad Universitaria- 28040 Madrid joseluis.hernanz@upm.es; ² Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario y Alimentario (IMIDRA) Finca "El Encín". Apdo. 127 Alcalá de Henares (Madrid) luís.navarrete@madrid.org; ³ Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos. Ciudad Universitaria- 28040 Madrid. victor.sanchezgiron@upm.es

Resumen

En un experimento de larga duración (1983–2013), el contenido de Carbono Orgánico del Suelo (COS) ha sido evaluado mediante las concentraciones en cinco capas del suelo (0-5, 5-10, 10–20, 20-30 y 30-40 cm), como respuesta a tres sistemas de laboreo: Convencional (LC), Mínimo (LM) y No Laboreo (NL) en un monocultivo de Cereal (Trigo- Cebada), también se evaluaron las cantidades de carbono en dichas capas expresadas en masa de suelo equivalente (MSE) en los años, 1983, 1990, 1996, 1998, 2000, 2002-2005, 2012 y 2013. Las concentraciones medias mostraron diferencias significativas a favor de NL (6,6 gC/kg) en relación a LC y LM, 5,9 y 6 gC/kg. Igualmente sucedió con el carbono almacenado por capa de MSE, 7,4 7,6 y 8,4 Mg ha⁻¹ en LC, LM y NL respectivamente. La distribución en profundidad mostró uniformidad en LC y una significativa estratificación en LM y NL. Las mayores diferencias fueron en superficie. Igualmente se produjeron en las cantidades almacenadas en (MSE). La evolución en el tiempo mostró un aumento significativo del C almacenado en LC en los primeros años (1983-1990), pero desde 1990 no hubo diferencias significativas el resto de los años. En LM no hubo dichas desde 1996 hasta 2012, y en NL desde 1996 en adelante tampoco hubo diferencias significativas. La conversión del carbono (CC) contenido en los residuos del cultivo en COS alcanzó su nivel máximo en 1990 para LC y LM, 28,2 y 29,3% respectivamente. En NL ocurrió en 1996 (46,6%) siendo significativamente superior a LC y LM. En todos los tratamientos la CC se redujo con los años aunque se mantuvieron las diferencias significativas hasta 2012 y 2013. En este último año CC llegó a valores del 11,3%, 8,4% y 17,3% para LC, LM y NL, respectivamente, no apareciendo diferencias significativas entre tratamientos.

Palabras clave: Distribución, Concentración, Eficiencia, Mínimo, No laboreo.

Soil organic carbon evolution (1983-2013) with three tillage systems in a monoculture cereal in a semiarid environment.

Abstract

In a experiment (1983-2013) Soil Organic Carbon (SOC) was assessed in terms of carbon concentration in five soil layers (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm) in response to three tillage systems: conventional (LC), minimum (LM) and No tillage (NL) in a monoculture cereal (wheat-barley). Similarly, the amount of carbon stored, expressed as equivalent mass of soil (MSE) in the years 1983, 1990, 1996, 1998, 2000, 2002-2005, 2012 and 2013. Carbon concentration mean values showed significant differences in favor of NL (6.6 gC / kg) compared to LC and LM, (5, 9 and 6 gC/ kg, respectively). The same trend was observed with the amount stored in the soil as MSE (7.4, 7.6 and 8.4 Mg ha⁻¹ in LC, LM and NL, respectively). The depth distribution in the soil of the organic carbon content was uniform in LC but a significant stratification was observed in LM and NL. The largest differences between treatments were detected in surface layer Similar results occurred with the total carbon stored in the soil. The time evolution observed showed a significant increase of total C stored in LC in the first seven years (1983-1990), from 1990 no significant increases were detected. Similar trend was observed in LM and NL, and in both treatments no significant differences in the total C stored occurred since 1996. Carbon conversion (CC) into SOC from carbon in crop residues peaked in 1990 for LC and LM (28.2 and 29.3% respectively). However, in NL (CC) peaked in 1996 (46.6%), being this figure significantly larger than in LC and

LM. In all treatments CC decreased over the years, but significant differences were observed until 2012 and 2013. In the latter year, CC values were 11.3%, 8.4% and 17.3% for LC, LM and NL, respectively, and no significant differences were observed between them.

Keywords: Distribution, Concentration, Efficiency, Minimum and No Tillage.

Introducción

La Agricultura de Conservación (AC) se inició a comienzos en la década de los años 50 en Estados Unidos para dar respuesta a los graves problemas que la erosión tanto hídrica como eólica estaban causando a los campos de cultivo como consecuencia del manejo inadecuado del suelo realizado mediante el tradicional arado de vertedera (Sprague, 1952). La propuesta por la reducción, incluso la eliminación, de las labores tradicionales marcó un punto de inflexión en la manera de producir alimentos mejorando al mismo tiempo la “calidad del suelo” (Lal, 2007). Este término es objeto de permanente debate en el que los investigadores tratan de precisar en su definición y sobre todo cuantificarlo mediante las variables físicas, químicas y biológicas del suelo. Resumiendo, la calidad del suelo es un atributo inherente a su capacidad para permitir, a lo largo del tiempo, el mantenimiento de las diferentes especies de seres vivos que conviven en un ecosistema. (Cannel y Hawes, 1994).

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) juega un papel fundamental en la calidad del mismo ya que; mejora la estabilidad estructural de los agregados del suelo, aumenta la infiltración del agua, reduce la compactación, aumenta la masa microbiana y en consecuencia la actividad biológica y mejora la capacidad de intercambio catiónico (Arshad y Martin 2002). En la AC los residuos de las cosechas se dejan en la superficie, caso del No Laboreo (NL) o se lleva a cabo un enterrado parcial, caso del Laboreo Mínimo (LM), a diferencia del Laboreo Convencional (LC), donde se entierran en un 90%. Ello significa que la dinámica en la evolución del Carbono Orgánico del Suelo (COS) difiere entre los tres sistemas de laboreo (Palm *et al.* 2014). El aumento de la superficie dedicada a la AC ha sido posible gracias a la mejora en el diseño de los medios de producción, tanto en los equipos de aplicación de productos fitosanitarios, especialmente en el control de la flora arvense, como en el desarrollo de las máquinas de siembra directa asociadas al NL (Hernanz *et al.* 2014).

En condiciones climáticas semiáridas de España la lluvia es el principal factor limitante de la productividad de los cultivos de secano. La pluviometría es errática, escasa y durante periodos de intensas tormentas causan erosión en los suelos agrícolas. Ello afecta a la mineralización del COS que se ve favorecida por las altas temperaturas cuando además coinciden con periodos húmedos. Por otro lado, los residuos de las cosechas son empacados o enterrados inmediatamente tras la recolección, además, en muchos lugares se sigue practicando el barbecho desnudo con lo que el COS se oxida a CO₂. Los niveles de COS aumentan cuando se practica la AC, especialmente el NL, si bien la respuesta del suelo no es inmediata. En un plazo mayor de 10 años, según la climatología, tipo de cultivo y rotaciones el COS alcanza el equilibrio en el suelo no aumentando dichos niveles si bien se mantienen más elevados que los obtenidos con el LC (Franzluebbers, 2005). Otro de los aspectos destacables es la estratificación del COS ya que el 40-50 % se acumula en los primeros 10-15 cm de profundidad siendo significativamente superior a los valores obtenido con el LC. Sin embargo, a partir de los 15 cm el COS es mayor con las técnicas tradicionales de volteo del suelo (Kern y Johnson, 1993).

Los objetivos de este trabajo son:

- 1.- Evaluar las concentraciones y cantidades almacenadas por unidad de superficie de COS en 5 profundidades del suelo y su evolución a lo largo del tiempo (1983-2013) como consecuencia del efecto de tres sistemas de manejo del suelo; LC, LM y NL en un monocultivo de cereal en condiciones semiáridas de la Meseta Central.
- 2.- Evaluar en el tiempo el Coeficiente de Conversión (CC) del Carbono aportado al suelo contenido en los residuos de cosecha, en COS.

Material y Métodos

El trabajo fue llevado a cabo en la finca experimental El Encín, perteneciente al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDRA) de la Comunidad de Madrid. El perfil del suelo corresponde a un Calcic Haploxeralf, de textura franca. De 0 a 55 cm de profundidad contiene; 0,45 gg⁻¹ de arena, 0.34 gg⁻¹ de limo y 0.21 gg⁻¹ arcilla. Se determinaron las concentraciones (gC.kg⁻¹) de COS en cinco profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm) y el contenido total (tC.ha⁻¹) hasta 40 cm, expresada en Masa de Suelo Equivalente (MSE) (Ellert y Bettany, 1996). Por otro lado se determinó el Coeficiente de Conversión (CC) del Carbono en los tres tratamientos:

LC.- Laboreo Convencional: La labor primaria se realizó mediante arado de vertedera seguida de uno o dos pases de cultivador o vibrocultivador, según las condiciones del suelo, y posterior siembra. Profundidad de trabajo máxima 30 cm.

LM.- Laboreo Mínimo: La labor primaria se realizó mediante aperos de labranza vertical, bien chisel o cultivador pesado, seguida de uno o dos pases de cultivador o vibrocultivador, y posterior siembra. Profundidad de trabajo máxima 15-17 cm.

NL.- No Laboreo. Se realizó siembra directa sobre los residuos del cultivo precedente esparcidos en el suelo tras la aplicación de un herbicida para el control de los rebrotes. Profundidad de trabajo máxima 10 cm. En cada campaña se aplicaron la misma dosis de semilla y fertilizante en todos tratamientos.

Con anterioridad a la instalación del experimento se realizaba una rotación cereal barbecho. En las campañas 1983-85 y 85-87 se cultivó trigo de invierno tras barbecho, los años 1988, 89, 91, 92, 2001 y 2003 cebada de invierno, en 1990 cebada de primavera. Barbecho –cebada de invierno 1992-94. Desde 1995 trigo de invierno excepto los años de cebada mencionados

El contenido de COS se llevó a cabo mediante el método de oxidación con K₂Cr₂O₇, (Jackson 1958). Se eligió un diseño experimental de bloques al azar con parcelas divididas en el espacio y el tiempo en el que los sistemas de laboreo fueron los tratamientos principales. Los muestreos se llevaron a cabo en los años; 1983, 1990, 1996, 1998, 2000-2005, 2012 y 2013. Cada año se determinaron las cantidades de Carbono en los Residuos de cosecha (CR), parte aérea y raíces, aportados al suelo.

El CC viene dado por la siguiente expresión, Ecuación (1):

$$CC(\%) = \frac{COS_x - COS_0}{\sum_{i=0}^{i=x-1} CR_i} \times 100 \quad (1)$$

El numerador expresa la diferencia entre el COS (MgC.ha⁻¹) en el año x y el COS del año 0 (1983). El denominador indica el CR (tC.ha⁻¹) acumulado desde el año 0 hasta el

año x-1. Ello es debido a que los análisis de muestras de suelo se llevaron a cabo inmediatamente tras la recolección no considerando que los residuos del año x hubieran iniciado su descomposición.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra los resultados de las concentraciones de COS para los tratamientos de laboreo profundidades y los años en que se llevaron a cabo los análisis. Los valores medios muestran que entre LC y LM no hubo diferencias entre ellos al ser prácticamente los mismos valores. Sin embargo, ambos fueron significativamente inferiores al NL. En la interacción tratamiento con profundidad las mayores diferencias significativas se obtuvieron en la capa 0-5 cm donde $NL > LM > LC$. NL Prácticamente duplica la concentración de LC. En la profundidad 5-10 cm no hubo diferencias entre LC y LM, pero ambos fueron significativamente inferiores a NL. De 10 a 20 cm entre LC y LM no hubo diferencias siendo ambos significativamente mayores que NL. En la capa 20-30 cm $LC > LM = NL$. De 30 a 40 cm no hubo diferencias entre los tratamientos. Al comparar resultados entre profundidades, para un mismo tratamiento, en el caso del LC no hubo diferencias significativas entre 0-5, 5-10 y 10-20 cm, siendo significativamente superiores a 20-30 cm y este, a su vez al valor medio de la capa 30-40 cm. Tanto en LM como NL todas las profundidades fueron significativamente diferentes decreciendo las concentraciones con la profundidad. La manera de incorporar los residuos al suelo en cada sistema de laboreo explica la distribución del COS con la profundidad,. En el caso del LC, el arado de vertedera invierte el prisma de tierra cortado por la reja y la cuchilla depositando los residuos una parte en el fondo del surco y el resto adosado a la pared del surco contiguo. Tras la labor de arado las de preparación del lecho de siembra tienden a distribuir uniformemente los residuos en una profundidad no mayor de 15 cm, En el LM la mayor cantidad de residuos (70%) se incorporan mediante labranza vertical en los primeros 15-17 cm y el 30 % restante queda en superficie. Por debajo de la profundidad antes mencionada el COS se debe al aportado por las raíces las cuales quedan protegidas de los procesos de oxidación que ocasiona la labranza. En NL se incorpora el 30-35% lo que genera una alta concentración de COS, por debajo de dicha profundidad los niveles de COS se deben también a la presencia de carbono radicular.

La evolución en el tiempo muestra que en LC no hubo diferencias significativas en los valores medios a partir de 1996, mientras que en LM ocurrió algo similar, solamente hubo diferencias significativas entre 1998 y 2013 a favor del primero. En NL los valores medios de las concentraciones se estabilizan a partir de 1996. Para dicho tratamiento se produce un significativo efecto de estratificación por el cual, aun manteniendo los valores medios, las concentraciones de la capa 0-5 cm tienden a incrementarse a costa de la reducción de las capas más profundas.

Tabla 1. Evolución en el tiempo y espacio de las concentraciones de COS (gC.kg^{-1}) en los sistemas de laboreo

Sistemas de Laboreo							Sistemas de Laboreo							
Año	Prof. (cm)	LC	LM		NL		Año	Prof. (cm)	LC	LM		NL		
COSc (g C kg ⁻¹)							COSc (g C kg ⁻¹)							
Estado Inicial														
1983	0-5	5,8 aA ^a	D ^b	5,8 aA	E	5,8 aA	2003	0-5	6,7 cA	ABCD	9,2 bA	ABC	15,7 aA	B
	5-10	5,7 aA	B	5,7 aA	C	5,7 aA		5-10	6,5 cA	AB	8,1 bB	A	9,3 aB	CD
	10-20	5,1 aAB	B	5,1 aAB	C	5,1 aAB		10-20	6,3 aA	A	6,1 aC	BC	5,7 aC	AB
	20-30	4,5 aB	B	4,5 aB	C	4,5 aB		20-30	6,1 aA	A	4,6 bD	BC	4,8 bC	AB
	30-40	4,3 aB	BC	4,3 aB	AB	4,3 aB		30-40	4,0 aB	C	4,1 aD	AB	4,8 aC	A
	Media	4,9 a	C	4,9 a	D	4,9 a		Media	5,8 b	AB	5,9 b	C	6,9 a	A
1990	0-5	6,0 bA	CD	7,6 aA	D	8,6 aA	2004	0-5	6,7 cAB	ABCD	9,3 bA	ABC	14,3 aA	C
	5-10	6,2 bA	AB	6,8 abAB	B	7,5 aA		5-10	6,9 bA	A	8,0 bB	A	11,0 aB	AB
	10-20	6,1 aA	AB	5,8 aBC	BC	5,7 aB		10-20	6,3 aAB	A	6,0 aC	BC	5,5 aC	AB
	20-30	5,8 aAB	A	5,3 aCD	ABC	5,4 aB		20-30	5,7 aB	A	5,5 aC	AB	5,1 aCD	AB
	30-40	4,8 aB	AB	4,6 aD	AB	4,1 aC		30-40	4,6 aC	BC	4,3 aD	AB	4,1 aD	A
	Media	5,7 a	B	5,7 a	C	5,8 a		Media	5,8 b	AB	6,1 b	AB	7,1 a	A
1996	0-5	7,2 cA	AB	8,8 bA	C	11,5 aA	2005	0-5	6,3 cA	BCD	8,3 bA	CD	14,3 aA	C
	5-10	6,6 bAB	AB	8,1 aA	A	8,9 aB		5-10	6,3 cA	AB	7,6 bA	AB	10,0 aB	BCD
	10-20	6,3 aAB	A	6,9 aB	AB	6,3 aC		10-20	6,4 aA	A	6,5 aB	AB	5,7 aC	AB
	20-30	5,8 aBC	A	5,9 aB	A	5,6 aCD		20-30	6,0 aA	A	5,2 aC	ABC	5,2 aC	AB
	30-40	5,1 aC	AB	4,6 aC	AB	4,8 aD		30-40	5,8 aA	A	5,0 abC	A	4,7 bC	A
	Media	6,0 b	AB	6,4 ab	AB	6,7 a		Media	6,1 b	AB	6,2 b	ABC	6,9 a	A
1998	0-5	7,1 cA	AB	9,0 bA	BC	13,7 aA	2012	0-5	7,4 cA	A	10,0 bA	AB	14,4 aA	C
	5-10	6,7 cA	AB	8,1 bAB	A	10,9 aB		5-10	6,8 cAB	A	8,4 bB	A	11,6 aB	A
	10-20	6,1 bAB	AB	7,4 aB	A	6,0 bC		10-20	6,6 aAB	A	6,1 aC	BC	5,8 aC	AB
	20-30	5,6 aBC	A	5,4 aC	ABC	5,2 aCD		20-30	5,7 aAB	A	5,4 aCD	ABC	5,0 aCD	AB
	30-40	4,5 aC	BC	4,8 aC	AB	4,5 aD		30-40	5,2 aB	AB	4,6 aD	AB	4,1 aD	A
	Media	5,8 b	AB	6,5 a	A	7,0 a		Media	6,1 b	AB	6,3 b	AB	7,0 a	A
2000	0-5	7,0 cA	AB	9,3 bA	ABC	13,3 aA	2013	0-5	6,7 cA	ABCD	9,4 bA	ABC	17,0 aA	A
	5-10	6,7 bAB	AB	7,4 bB	B	9,1 aB		5-10	7,0 bA	A	8,0 bB	A	9,2 aB	D
	10-20	6,3 aAB	A	6,5 aB	AB	6,4 aC		10-20	6,7 aA	A	5,9 aC	BC	5,9 aC	AB
	20-30	5,8 aB	A	4,8 aC	ABC	5,5 aCD		20-30	6,5 aA	A	4,9 bCD	ABC	4,7 bD	AB
	30-40	4,7 aC	AB	4,9 aC	AB	4,7 aD		30-40	4,9 aB	ABC	4,2 aD	AB	4,5 aD	A
	Media	5,9 b	AB	6,2 b	ABC	6,9 a		Media	6,3 b	A	5,9 b	BC	7,1 a	A
2002	0-5	6,8 cA	AB	10,2 bA	A	16,7 aA	Media Lab. x Prof.	0-5	6,7 cA		8,8 bA		13,2 aA	
	5-10	6,5 cA	AB	8,5 bB	A	10,4 aB		5-10	6,5 bA		7,7 bB		9,4 aB	
	10-20	6,8 aA	A	6,1 abC	BC	5,7 bC		10-20	6,3 aA		6,2 aC		5,8 bC	
	20-30	6,2 aA	A	5,1 bC	ABC	5,0 bCD		20-30	5,8 aB		5,2 bD		5,1 bD	
	30-40	4,3 aB	BC	3,9 aD	B	3,9 aD		30-40	4,7 aC		4,5 aE		4,4 aE	
	Media	6,0 b	AB	6,1 b	ABC	7,0 a		Media Lab.	5,9 b		6,0 b		6,6 a	

LC, laboreo Convencional. LM, Laboreo Mínimo. NL, No laboreo.

Valores medios en cada fila seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes a igual profundidad ($P < 0.01$).^a Valores medios en cada columna seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes entre profundidades para el mismo tratamiento y año ($P < 0,01$).^b Valores medios en cada columna seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes entre años para el mismo tratamiento y profundidad. ($P < 0,01$).

Tabla 2. Evolución en el tiempo y espacio del COS almacenado por unidad de superficie ($MgC.ha^{-1}$) en los sistemas de laboreo

Sistemas de Laboreo									Sistemas de Laboreo											
Año	Capa	LC	LM			NL			Año	Capa	LC	LM			NL					
COSmse (Mg C ha ⁻¹)									COSmse (Mg C ha ⁻¹)											
Initial conditions																				
1983	C1	7,4 aA ^a	D ^b	7,4	aA	E	7,4	aA	G	2003	C1	8,5	cA	ABC	11,1	bA	BC	16,7	aA	BC
	C2	6,6 aAB	B	6,6	aAB	D	6,6	aAB	C		C2	8,1	aA	A	8,2	aB	BC	8,2	aB	AB
	C3	6,0 aBC	C	6,0	aBC	D	6,0	aBC	B		C3	7,9	aA	AB	6,6	bC	CD	6,6	bC	AB
	C4	5,6 aBC	D	5,6	aBC	BC	5,6	aBC	B		C4	6,3	aB	CD	5,6	aD	C	6,1	aC	AB
	C5	5,5 aC	BC	5,5	aC	AB	5,5	aC	AB		C5	5,1	aC	C	5,2	aD	AB	6,0	aC	AB
	Media	6,2 a	C	6,2	a	D	6,2	a	C		Media	7,2	b	AB	7,4	b	BC	8,7	a	A
1990	C1	7,8 cA	CD	9,3	bA	D	10,4	aA	F	2004	C1	8,7	cA	ABC	11,1	bA	BC	16,6	aA	BC
	C2	7,8 aA	A	7,6	aB	C	7,7	aB	B		C2	8,1	aAB	A	8,1	aB	C	8,6	aB	AB
	C3	7,5 aAB	AB	7,0	aBC	BC	7,1	aBC	A		C3	7,5	aBC	AB	7,3	aBC	ABC	6,8	aC	AB
	C4	6,8 aBC	ABC	6,4	aCD	ABC	6,2	aC	AB		C4	6,6	aCD	ABC	6,5	aCD	ABC	6,1	aCD	AB
	C5	5,9 aC	ABC	5,7	aD	AB	5,2	aD	AB		C5	5,7	aD	BC	5,5	aD	AB	5,2	aD	AB
	Media	7,2 a	B	7,2	a	C	7,3	a	B		Media	7,3	b	AB	7,7	b	ABC	8,6	a	A
1996	C1	8,9 cA	AB	10,8	bA	C	13,4	aA	E	2005	C1	8,1	cA	BCD	10,3	bA	C	15,9	aA	C
	C2	8,1 aAB	A	9,0	aB	AB	8,8	aB	A		C2	8,2	aA	A	8,5	aB	BC	8,4	aB	AB
	C3	7,7 aBC	AB	8,0	aC	A	7,5	aC	A		C3	7,8	aA	AB	7,3	aC	ABC	6,9	aC	AB
	C4	7,0 aCD	ABC	7,0	aD	A	6,8	aD	A		C4	7,5	aAB	A	6,6	abCD	AB	6,4	bCD	AB
	C5	6,3 aD	AB	5,8	aE	AB	6,1	aE	A		C5	6,8	aB	A	6,1	abD	A	5,8	bD	AB
	Media	7,6 b	AB	8,1	ab	A	8,5	a	A		Media	7,7	b	AB	7,8	b	ABC	8,7	a	A
1998	C1	8,9 cA	AB	11,0	bA	BC	16,1	aA	C	2012	C1	9,1	cA	A	11,9	bA	AB	16,8	aA	BC
	C2	7,9 bB	A	9,6	aB	A	9,0	aB	A		C2	8,5	aAB	A	8,2	aAB	BC	8,6	aB	AB
	C3	7,4 aBC	B	7,8	aC	AB	7,1	aCD	A		C3	7,6	aBC	AB	7,3	aBC	ABC	6,7	aC	AB
	C4	6,5 aCD	BCD	6,6	aD	AB	6,3	aDE	AB		C4	6,9	aCD	ABC	6,5	abCD	ABC	5,9	bCD	AB
	C5	5,6 aD	BC	5,9	aD	AB	5,6	aE	AB		C5	6,2	aD	AB	5,7	abD	AB	5,2	bD	AB
	Media	7,2 b	AB	8,2	a	A	8,8	a	A		Media	7,7	b	AB	7,9	b	AB	8,6	a	A
2000	C1	8,8 cA	ABC	10,9	bA	C	14,8	aA	D	2013	C1	8,8	cA	ABC	11,2	bA	ABC	17,4	aA	AB
	C2	8,1 aAB	A	8,5	aB	BC	8,9	aB	A		C2	8,6	aA	A	8,0	aB	C	8,2	aB	AB
	C3	7,6 aBC	AB	7,0	aC	BC	7,5	aC	A		C3	8,4	aA	A	6,7	bC	CD	6,6	bC	AB
	C4	6,8 aCD	ABC	6,2	aC	ABC	6,7	aC	AB		C4	7,4	aB	AB	5,9	bCD	BC	5,9	bCD	AB
	C5	5,8 aD	BC	6,1	aC	A	5,9	aC	AB		C5	6,0	aC	ABC	5,3	aD	AB	5,6	aD	AB
	Media	7,4 b	AB	7,7	b	ABC	8,8	a	A		Media	7,8	b	A	7,4	b	BC	8,8	a	A
2002	C1	8,6 cA	ABC	12,1	bA	A	18,0	aA	A	Media Lab.	C1	8,5	cA	10,6	bA	14,9	aA			
	C2	8,7 aA	A	8,4	aB	BC	8,4	aB	AB	xCapa	C2	8,1	aB	8,2	aB	8,3	aB			
	C3	8,2 aA	AB	7,0	bC	BC	6,7	bC	AB		C3	7,6	aC	7,1	bC	6,9	bC			
	C4	6,8 aB	ABC	5,9	aD	BC	5,9	aCD	AB		C4	6,7	aD	6,2	bD	6,2	bD			
	C5	5,5 aC	BC	5,0	aD	B	5,0	aD	B		C5	5,8	aE	5,6	aE	5,5	aE			
	Media	7,5 b	AB	7,7	b	ABC	8,8	a	A	Media Lab.		7,4	b	7,6	b	8,4	a			

LC, laboreo Convencional. LM, Laboreo Mínimo. NL, No laboreo. Masa de suelo equivalente por capa C $1280 Mg.ha^{-1}$

Valores medios en cada fila seguidos de la misma letra minúscula no son significativamente diferentes a igual profundidad ($P < 0,01$).^a Valores medios en cada columna seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes entre profundidades para el mismo tratamiento y año ($P < 0,01$).^b Valores medios en cada columna seguidos de la misma letra mayúscula no son significativamente diferentes entre años para el mismo tratamiento y profundidad. ($P < 0,01$).

En la Tabla 2 se muestran los resultados del COS referidos a la unidad de superficie y a masa de suelo equivalente. Los valores medios manifiestan la misma tendencia que con las concentraciones, $NL > LM = LC$. Sin embargo, en la interacción tratamiento por profundidad en la capa C2 no hay diferencias significativas, pero en las capas C3 y C4 se cumple que $LC > LM = NL$. Por otro lado en todos los tratamientos aparecen

diferencias significativas entre las distintas capas dentro del mismo sistema de laboreo. Al igual que con las concentraciones la evolución en el tiempo marca la misma tendencia. Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Sombrero y de Benito (2010, en Castilla y León, López Fando y Pardo (2011) en Castilla La Mancha, Plaza Bonilla et al (2010) en Lérida y Ordoñez et al (2007) en Andalucía. En todos los casos se trata de experimentos de al menos 10 años llevados a cabo en España, al igual que Dimassi et al (2014) en un experimento de 41 años llevado a cabo en Francia.

La evolución en el tiempo de las cantidades totales de COS, referidas a masa de suelo equivalente puede verse en la Figura 1

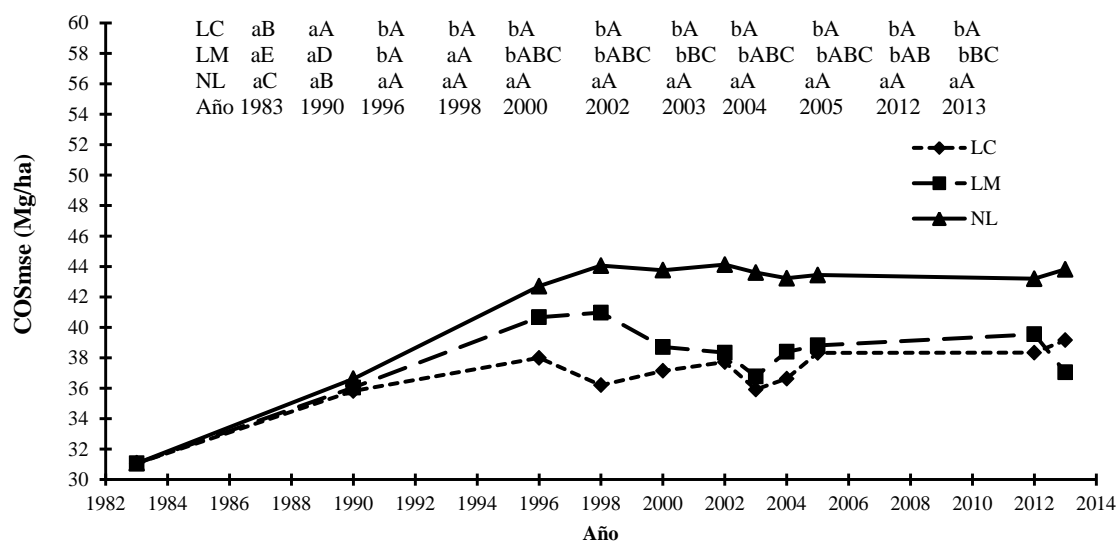


Figura1. Evolución en el tiempo del contenido total de COS referido a masa de suelo equivalente.

Valores con la misma letra minúscula en la misma columna no presentan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,01$). Valores con la misma letra mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre fechas para un mismo tratamiento ($p < 0,01$)

No hubo diferencias entre tratamientos en los años 1983 y 1990. A partir de 1990 año el NL fue significativamente superior a LM y LC siendo iguales estos dos últimos. Dicha a diferencia, a favor de NL, se debe a que el COS fijado en la capa C1 que supone el 36% del total. En nuestro caso en ninguna ocasión año hubo acumulación de residuos en el suelo de un año a otro. Las condiciones climatológicas de la zona propician la total descomposición de los mismos.

A lo largo del tiempo desde 1990 no hubo diferencias en LC. Con respecto al LM, los valores más altos se alcanzaron en 1996 y 1998, sin embargo, desde 1998 no hubo diferencias significativas. El NL llegó a alcanzar el equilibrio en el suelo en 1996 no aumentando el COS con las aportaciones de residuos llevadas a cabo cada año. Estos valores son acordes con las estimaciones de West y Post (2002) que para el caso del cambio de LC a NL y un periodo de 12 años el aumento de COS fue $25 \pm 26 \text{ g.m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para un monocultivo de trigo. En este caso se llegó a $36,2 \pm 15 \text{ g.m}^{-2} \text{ año}^{-1}$. Estos investigadores consideran que el secuestro de carbono al cambiar de LC a NL sufre un tiempo de retraso, en la respuesta del suelo, alcanzado el valor máximo, en la conversión del carbono de los residuos en COS, a partir de los primeros 5 y 10 años,

Entre los 15 y 20 primeros años de iniciado el cambio de LC a NL es cuando se llega a alcanzar el equilibrio en el suelo. En este experimento ocurrió a los 13 años de iniciarse.

En la Figura 2 se muestra en las cantidades de carbono aportadas al suelo desde 1983. En ningún caso existe un tratamiento que sobresalga de los demás, todos siguen la misma tendencia. Las producciones medias no mostraron diferencias significativas alcanzando los valores de 2,30, 2,30 y 2,33 Mg.ha⁻¹ año⁻¹ para LC, LM y NL, respectivamente.

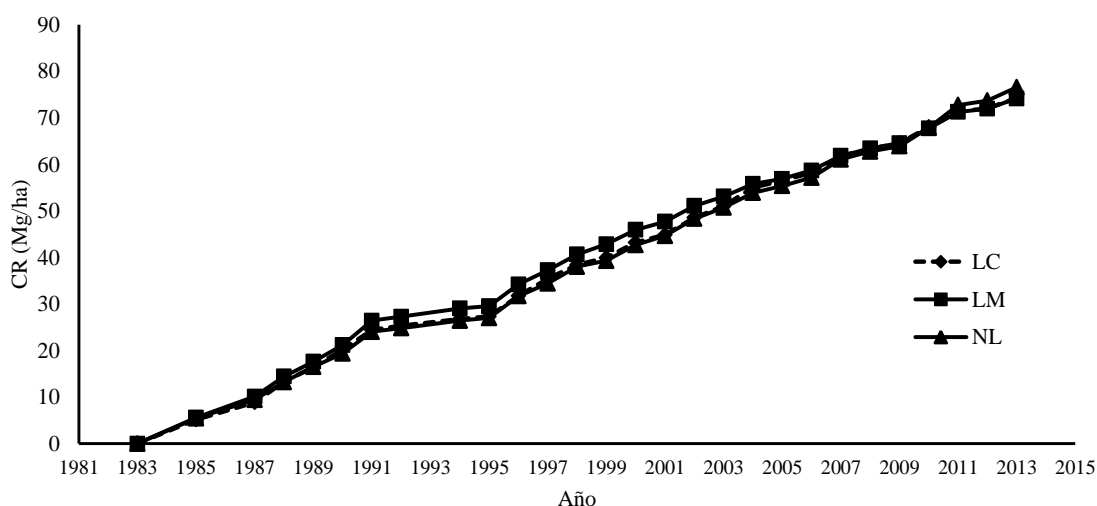


Figura 2. Carbono acumulado contenido en los residuos aportado al suelo en cada sistema de laboreo.

La evolución del factor de Conversión del Carbono (CC%) se muestra en la Figura 3

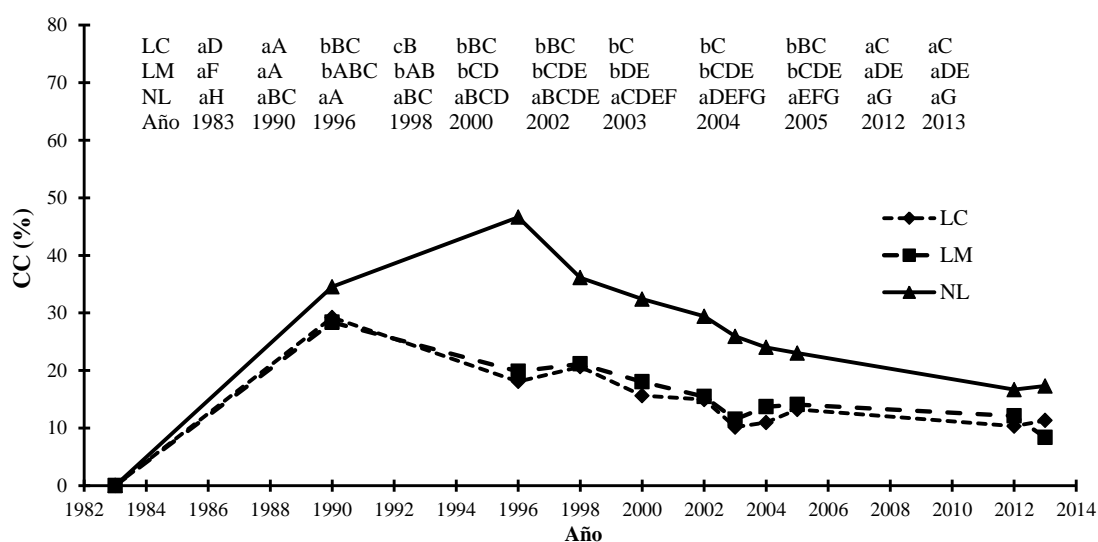


Figura 3. Evolución del CC (%) en cada sistema de laboreo

Valores con la misma letra minúscula en la misma columna no presentan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,01$). Valores con la misma letra mayúscula en la misma fila no presentan diferencias significativas entre fechas para un mismo tratamiento ($p < 0,01$)

Se observa que en 1990 2012 y 2013 no hubo diferencias significativas entre tratamientos. En 1990 LC y LM alcanzaron los valores máximos, mientras que en NL fue en 1996. A partir de dichas fechas CC fue disminuyendo a lo largo del tiempo en todos los tratamientos. Para el LC no hubo diferencias significativas en los años 1996

1998, 2000, 2002 y 2005. Desde el año 2000 hasta el 2013, tampoco Con respecto al LM los años 1990, 1996 y 1998 estadísticamente fueron iguales. Desde el 2000 al 2013 tampoco hubo diferencias significativas. En NL los años 1998 al 2003 estadísticamente fueron iguales, ocurriendo lo mismo desde el 2004 al 2013. Estos resultados se explican observando las Figuras 1 y 2, si desde 1998 los niveles de COS tienden a mantenerse constantes y cada año se sigue aportando carbono al suelo la eficiencia o CC decrece en el tiempo. Esta afirmación es corroborada por West y Post (2002) y West y Six (2007) quienes consideran que para cada situación relativa al manejo del suelo, rotaciones de cultivos utilizadas y coyuntura climática existe un tiempo a partir del cual el carbono aportado en los residuos no se traduce en un aumento del COS.

Conclusiones

Las conclusiones más relevantes las podemos resumir en:

- El sistema de NL acumuló significativamente mayor cantidad de COS que LC y LM, tanto en concentraciones como en masa de suelo equivalente.
- En las capas superficiales 0-5 cm y 5-10 cm se obtuvo mayor cantidad de COS en LM y NL que en LC. Esta tendencia se invirtió en las capas de 10 -20 cm 20-30 cm.
- Los valores máximos del COS se alcanzaron en 1996 para LC y 1998 en LM y NL. A partir de dichos años se mantuvieron prácticamente constantes en el tiempo.
- El CC también alcanzó valores máximos en 1990 en LM y LC, mientras que en NL fue en 1998. A partir de dichos años fue decreciendo en el tiempo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), por el apoyo financiero dado a lo largo de los años en los que se ha llevado a cabo este trabajo (Proyectos : PR84-0495; AGR90-0088; AGF96-1138-C02-01; AGL2001-3822-C02-01; AGL2002-04186-C03-01,03; AGL2007-65698-C03-01,03 y AGL2012-39929-C03- 03,01). Por otro lado agradecen el apoyo prestado por el IMIDRA para llevar a cabo la presente investigación en la Estación Experimental "El Encín".

Bibliografía

- Arshad, M. A., Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 88 (2), 153-160.
- Bolinder, M. A., Angers, D. A., Dubuc, J. P. 1997. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. *Agr. Ecosyst. Environ.* 63 (1), 61-66.
- Cannell, R.Q., Hawes, J.D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30, 245-282.
- Dimassi, B., Mary, B., Wylleman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piraux, F., et al. 2014. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. *Agr. Ecosyst. Environ.* 188, 134-146.
- Ellert, B.H., Bettany, J.R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75, 529-538.
- Franzluebbers, A.J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till. Res.* 83, 120-147.
- Hernanz, J. L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., Sánchez, M. J. 2014. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop

- production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in Central Spain. *Field Crops Res.* 166, 26-37.
- Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New York 488 pp.
- Kern, J.S., Johnson, M.G. 1993. Conservation tillage impacts on soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 200–210.
- Lal, R. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Till. Res.* 93, 1-12.
- López-Fando, C., Pardo, M. T. 2011. Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil Till. Res.* 111(2), 224-230.
- Ordóñez Fernández, R., González Fernández, P., Giráldez Cervera, J. V., Perea Torres, F. 2007. Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil Till. Res.*, 94(1), 47-54.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agr. Ecosyst. Environ.* 187, 87-105.
- Plaza-Bonilla, D. . Cantero-Martínez C., Álvaro-Fuentes J. 2010-Tillage effects on soil aggregation and soil organic carbon profile distribution under Mediterranean semi-arid conditions *Soil Use and Manag.*, 26, 465–474
- Sombrero, A., de Benito, A., 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil Till. Res.* 107, 64–70.
- Sprague, M.A. 1986. Overview. In: M.A. Sprague and G.B. Triplett, (Eds). *No tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution.* (pp. 59 – 93). New York: John Wiley and Sons.
- West, T.O., Post, W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930–1946.
- West, T.O., Six, J., 2007. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. *Climatic Change* 80, 25–41.

M05 - Estimación de las emisiones de CO₂ (1986-2014) con tres sistemas de laboreo, en una rotación cereal leguminosa en ambiente semiárido.

Hernanz, J.L.¹; Navarrete, L.², Sánchez-Girón, V.³, Sánchez, M.J.²

¹ Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. ETS Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Ciudad Universitaria- 28040 Madrid joseluis.hernanz@upm.es; ² Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario y Alimentario (IMIDRA) Finca "El Encín". Apdo. 127 Alcalá de Henares (Madrid) luís.navarrete@madrid.org; ³ Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos. Ciudad Universitaria- 28040 Madrid. victor.sanchezgiron@upm.es

Resumen

En un experimento de larga duración (1986-2014), se han estimado las emisiones de CO₂ en el manejo de una rotación de trigo con veza y/o guisante para heno con tres sistemas de laboreo, Convencional (LC), Mínimo (LM) y No Laboreo (NL). Se determinaron las emisiones generadas por los factores de producción (EFP): combustible, maquinaria, fertilizantes, semillas y fitosanitarios. Por otro lado se han evaluado las emisiones de N₂O producidas en el suelo siguiendo el protocolo del IPCC para convertirlas en CO₂. Los resultados de EFP muestran que para el trigo no hubo diferencias significativas entre LM y NL, 0,83 y 0,77 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹, respectivamente y ambos sistemas fueron significativamente inferiores a LC con 0,94 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹. Con relación a las leguminosas se obtuvieron diferencias significativas entre todos los tratamientos 0,40, 0,34 y 0,31 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ para LC, LM y NL, respectivamente. Las emisiones totales (ET) en trigo, considerando además las producidas en el suelo fueron 1,67, 1,47 y 1,26 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ para LC, LM y NL respectivamente, y se encontraron diferencias significativas entre los tres. Para de las leguminosas, los valores fueron 0,53 (LC), 0,50 (LM) y 0,40 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ y no hubo diferencias significativas. El CO₂ fijado (FIX) en trigo cosechado NL (4,7 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹) > LM = LC ambos con 4,1 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹. En leguminosas los valores fueron 5,8, 5,5 y 6,1 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ en LC, LM y NL respectivamente no habiendo diferencias significativas entre NL y LC. La ganancia (G), diferencia entre FIX y ET, para el trigo fue 2,4 (LC) = 2,6 (LM) < 3,5 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ (NL) mientras que para las leguminosas se obtuvo 5,3 (LC), 5,5 (LM) y 5,7 Mg CO₂ha⁻¹año⁻¹ (NL) donde NL>LM. En conclusión el sistema NL obtuvo ventajas significativas con respecto a los otros en trigo y en leguminosas.

Palabras clave: Convencional, Mínimo, No laboreo, CO₂ balance.

Estimation of CO₂ emissions (1986-2014) with three tillage systems in a cereal rotation legume in semiarid environment.

Abstract

In a long-term experiment (1986-2014) in semiarid conditions, CO₂ emissions were estimated in three tillage systems, conventional (LC), minimum (LM) and no-tillage (NT) following a winter wheat- vetch/forage pea for hay rotation. The emissions associated with production factors (EFP) as fuel, machinery, fertilizers, seeds and pesticides were determined. Soil N₂O emissions were evaluated following the protocol of the IPCC and converted into CO₂. The results of EFP show that for wheat there were no significant differences between LM and NL (0.83 and 0.77 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ respectively), and both systems were significantly lower than LC (0.94 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹). For legumes significant differences between treatments were observed (0.39, 0.32 and 0.30 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ in LC, LM and NL, respectively). Wheat total emissions (ET), were 1.67, 1.47 and 1.26 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ for LC, LM and NL respectively, and significant differences were found between LC and NL. For legumes, the values were 0.53 (LC), 0.50 (LM) and 0.40 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ (NL), no significant differences between them. The CO₂ fixed (FIX) in the harvested wheat in NL (4.7 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹) was larger than that in LM and LC with 4.1 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹. For the legume crops the CO₂ fixed values were 5.8, 5.5 and 6.1 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ in LC, LM and NL respectively, no significant differences between NL and LC. The gain (G), difference between ET and FIX, for wheat was similar in LC and LM, and significantly lower than in NL (2.4, 2.6 and 3.5 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹). For the legume crops no significant differences were encountered

between the gain of LC and LM but the gain in NL was significantly higher than in the two latter systems (5,3, 5 and 5.7 Mg CO₂ha⁻¹year⁻¹ for LC, LM and NL). NL system performed better than the other two tillage systems in all crops and rotation.

Keywords: Conventional, Minimum, No tillage, CO₂ assessment.

Introducción

Ocupando aproximadamente el 35% de la superficie de la tierra, la agricultura representa casi el 13,5% del total de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, contribuyendo aproximadamente con el 25, 50, y 70% de CO₂, CH₄, y N₂O, respectivamente (Montzka et al., 2011.)

Las estimaciones de la FAO sobre los (GEI) muestran que las emisiones procedentes de la agricultura, la silvicultura y la pesca se han duplicado en los últimos cincuenta años, y podrían aumentar un 30% más en 2050, sin no se lleva a cabo un esfuerzo mayor para reducirlas. Las emisiones agrícolas procedentes de la producción agropecuaria crecieron desde 4,7 Gt CO₂eq en 2001, a más de 5,3 Gt CO₂eq en 2011, un incremento del 14% generado, principalmente en los países en vías desarrollo, debido a la expansión de la producción agrícola. La mayor fuente de emisiones de GEI dentro de la agricultura es la fermentación entérica, que representó en 2011 el 39 por ciento de las emisiones totales de GEI del sector. Las generadas en e la aplicación de fertilizantes sintéticos representan el 13% de las emisiones de la agricultura (725 MtCO₂ eq) en 2011, y son la fuente de emisiones de más rápido crecimiento en la agricultura, con un aumento del 37% desde 2001 (Tubiello et al. 2014).

En 2011, el 44 % de la generación de GEI relacionados con la agricultura se produjo en Asia, seguida de América (25%), África (15 %), Europa (12 %) y Oceanía (4 %). Esta distribución regional se mantuvo en general constante durante la última década. En 1990 sin embargo, la contribución de Asia al total mundial (38 %) fue menor que en la actualidad, mientras que la de Europa era mayor (21 %) (Tubiello et al. 2014).

Aunque, la agricultura es fuente de emisiones, existe la posibilidad de reducirlas incluso en los suelos cultivados si se identifican y adoptan mejores prácticas de manejo (Hutchinson et al. 2007). Los suelos suponen la mayor reserva tienda del carbono terrestre, sin embargo, debido a la erosión y a la oxidación, una parte significativa del COS se pierde por escurrimiento o en forma de CO₂. La evidencia científica sugiere que el 50-66% del carbono perdido en el suelo se puede recuperar si este se maneja adecuadamente (Lal, 2004a). Las dos estrategias fundamentales para propiciar la captura de carbono es la minimización de la alteración del suelo y el aumento de las aportaciones de materia orgánica. Por lo tanto, los cultivos para enterrado en verde, las cubiertas vegetales, el laboreo de conservación, los fertilizantes orgánicos, y la reducción del barbecho son algunas de las prácticas de manejo recomendadas para la reducción de emisiones (Lal, 2004b). La mejora de la utilización de nutrientes, especialmente de nitrógeno y fósforo, los cultivos asociados y las rotaciones, también permiten aumentar el COS.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- Determinar las emisiones equivalentes de CO₂ generadas por los factores de producción de tres sistemas de laboreo; Convencional (LC), Mínimo (LM) y No laboreo (NL) en una rotación trigo de invierno con leguminosa, Veza-Guisante, para heno en

condiciones semiáridas de la Meseta Central en un experimento de larga duración (1986-2014).

- Determinar las emisiones equivalentes, directas e indirectas CO₂, así como las totales, de CO₂ procedentes de los N₂O producidos por las aportaciones inorgánicas y orgánicas de N, estimadas según el procedimiento propuesto por el IPCC (2006) para los tres sistemas de laboreo.

- Evaluar el CO₂ fijado en la cosecha de grano en el trigo y heno en el forraje, así como la eficiencia en las emisiones de los tres sistemas de laboreo.

Material y Métodos

El trabajo fue llevado a cabo en la finca experimental El Encín, perteneciente al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDRA) de la Comunidad de Madrid. El perfil del suelo corresponde a un Calcic Haploxeralf, de textura franca. De 0 a 55 cm de profundidad contiene; 0,45 gg⁻¹ de arena, 0,34 gg⁻¹ de limo y 0,21 gg⁻¹ arcilla. Se evaluaron las emisiones directas debidas a los factores de producción EFP, considerando como tales; combustible, maquinaria, fertilizantes, herbicidas y semillas. Los sistemas de laboreo fueron:

LC.- Laboreo Convencional: La labor primaria se realizó mediante arado de vertedera seguida de uno o dos pases de cultivador o vibrocultivador, según las condiciones del suelo, y posterior siembra. Profundidad de trabajo máxima 30 cm.

LM.- Laboreo Mínimo: La labor primaria se realizó mediante aperos de labranza vertical, bien chisel o cultivador pesado, seguida de uno o dos pases de cultivador o vibrocultivador, y posterior siembra. Profundidad de trabajo máxima 15-17 cm.

NL.- No Laboreo. Se realizó siembra directa sobre los residuos del cultivo precedente esparcidos en el suelo tras la aplicación de un herbicida para el control de los rebrotes. Profundidad de trabajo máxima 10 cm. En cada campaña se aplicaron la misma dosis de semilla y fertilizante en todos tratamientos.

El cultivo de trigo de invierno se sembró las campañas, 1985-86, 1987-88, 1989-90, 1991-92, 1992-93, 1994-95, 1996-97, 1998-99, 2000-01, 2002-03, 2004-05., 2006-07, 2008-09, 2010-11 y 2012-13. La veza se sembró las campañas, 1986-87, 1990-91, 1993-94, 1995-96, 1997-98, 1999-00, 2007-08, 2009-10, 2011-12 y 2013-14. El guisante forrajero se sembró en las campañas; 2001-2002, 2003-04 y 2005-06. Con anterioridad a la instalación del experimento se realizaba una rotación cereal barbecho.

Emisiones debidas a los factores de producción.

Se contabilizaron en cada campaña los insumos anteriormente citados. Para el cálculo de las emisiones se ha seguido el procedimiento propuesto por Bowers (1992) para la estimación de la energía de uso directo e indirecto de los equipos mecánicos. Las emisiones específicas equivalentes de cada factor se muestran en la Tabla 1

Emisiones N₂O debidas al nitrógeno aportado.

Se dividen en directas e indirectas:

N₂ O dir. –N_N-ap. = Emisiones directas anuales debidas a las aportaciones de N kg N₂O– N. ha⁻¹ año⁻¹. Ecuación (1)

$$N_2O_{dir} - N_{N-ap.} = (F_{SN} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot EF_1 \quad (1)$$

En el que:

F_{SN} : Cantidad anual de N aplicado en forma de fertilizante mineral, kg N.ha⁻¹.año⁻¹.

Tabla 1. Emisiones asociadas a los factores de producción.

Factor	Unidad	Equivalencia kgCO ₂ . Unidad ⁻¹	Referencia
Combustible	L	3,51	Biograce (2012)
Maquinaria	kg	9,60	Maserani (2007)
Nitrógeno	kg	5,88	Biograce (2012)
Fósforo	kg PO ₅	1,01	Biograce (2012)
Potasio	kg K ₂ O	0,58	Biograce (2012)
Semilla Trigo	kg	0,63	Biograce (2012)
Semilla Leguminosa	kg	0,50	Biograce (2012)
Herbicida selectivo	kg I.A	33,4	Lal (2004a)
Herbicida no selectivo	kg I.A	9,5	Lal (2004a)

IA Ingrediente Activo

F_{CR} : cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N que se incorporan al suelo, kg N.ha⁻¹ año⁻¹. Ecuación (2)

$$F_{CR} = R_A \cdot N_A + R_S \cdot N_S \quad (2)$$

Donde:

R_A : Cantidad de residuos aéreos dejados en el suelo kg.ha⁻¹año⁻¹

N_A : Contenido de N en los residuos aéreos kg N. Kg⁻¹

R_S : Cantidad de residuos subterráneos dejados en el suelo kg.ha⁻¹año⁻¹

N_S : Contenido de N en los residuos subterráneos kg N. kg⁻¹

F_{SOM} : cantidad anual de N que se mineraliza, relacionada con la pérdida del COS del suelo, procedente de la materia orgánica, kg N.ha⁻¹.año⁻¹. Ecuación (3)

$$F_{SOM} = \frac{COS_x - COS_{x-1}}{R} \quad (3)$$

Donde:

COS_x : Cantidad de Carbono Orgánico almacenado en el suelo el año x (kgC. ha⁻¹).

COS_{x-1} : Cantidad de Carbono Orgánico almacenado en el suelo el año x-1 (kgC. ha⁻¹).

R: Relación Carbono/Nitrógeno (kgC.kg⁻¹N)

EF_1 = Factor de emisión para las aportaciones de N, kg N₂O–N kg⁻¹ aportado de N.

N_2O indir. = Emisiones indirectas anuales N kg N₂O– N. ha⁻¹ año⁻¹

Incluye, la deposición atmosférica y la lixiviación.

$N_2O_{(ATD)} - N$ = cantidad anual de N₂O–N producida por deposición atmosférica de N volatilizado, kg N₂O–N ha⁻¹año⁻¹. Ecuación (4)

$$N_2O_{ATD} - N = F_{SN} \cdot FRAC_G \cdot EF_4 \quad (4)$$

Donde:

FRAC_G: Fracción de N de los fertilizantes minerales que se volatilizan en NH₃ y NO_x, kg N volatilizado. kg⁻¹ de N aplicado.

EF₄: Factor de emisión correspondiente al N₂O de la deposición atmosférica de N en el suelo agua. kg N–N₂O. kg⁻¹ (NH₃–N + NO_x–N) volatilizado.

N₂O_(L) –N = cantidad anual de N₂O–N producida por lixiviación y escurrimiento del N aportado al suelo, kg N₂O–N. ha⁻¹ año⁻¹. Ecuación (5)

$$N_2O_L - N = (F_{SN} + F_{CR} + F_{SOM}) \cdot Frac_L \cdot EF_5 \quad (5)$$

Donde:

Frac_L: Fracción del N añadido que produce lixiviación/escurrimiento, kg N. kg⁻¹ de N aportado.

EF₅: Factor de emisiones de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N, kg N₂O–N kg⁻¹N.

Emisiones Equivalentes (EE)

Las emisiones equivalentes EE de CO₂ vienen dadas por la siguiente ecuación (6):

$$EE_{CO_2} = (\sum N_2O - N) \cdot FC \quad (6)$$

Donde:

FC. Factor de conversión 465 kg CO₂ eq kg⁻¹ N₂O–N.

Emisiones totales (ET)

Es la suma de todas las emisiones

CO₂ fijado (FIX)

Es el contenido de carbono en la cosecha recogida multiplicado por 44/12

REL

Relación entre el carbono fijado y las emisiones EFP. Es un indicador de la eficiencia de cada sistema de laboreo en con respecto a las emisiones de los factores de producción.

Ganancia (GAN)

Diferencia entre el CO₂ fijado y las emisiones totales Al igual que REL es un indicador de la eficiencia de cada sistema de laboreo en con respecto a las emisiones totales.

Resultados y Discusión

En las Tablas 2 y 3 se dan los resultados de las emisiones equivalentes de los factores de producción, aportaciones de N y totales para los cultivos de trigo y leguminosas respectivamente.

Tabla 2.- Emisiones equivalentes debidas a los factores de producción (EFP), directas e indirectas debidas a las aportaciones de nitrógeno (EN₂-O) y totales (ET) del cultivo de trigo.

Año	Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo										
	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.							
	EFP (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				EN ₂ -O (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				ET (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)										
1986	0,97	0,89	0,79		0,37	a	0,30	a	0,12	b	**								
1988	1,08	0,94	0,78		0,87	a	0,81	a	0,64	b	**								
1990	1,60	1,39	1,26		0,27	a	0,12	a	-0,23	b	**								
1992	0,94	0,86	0,82		0,15		0,54		0,36		NS								
1993	0,68	0,60	0,57		-0,48		-0,05		-0,36		NS								
1995	0,68	0,60	0,57		-0,03		0,46		0,20		NS								
1997	1,02	0,96	0,87		1,97	a	1,27	ab	0,49	b	**								
1999	1,00	0,88	0,84		1,40	ab	1,00	b	1,77	a	***								
2001	0,94	0,86	0,81		0,46		0,71		0,94		NS								
2003	1,00	0,88	0,81		2,47		1,54		0,97		NS								
2005	0,68	0,56	0,51		0,94		0,74		0,42		NS								
2007	0,96	0,87	0,85		0,75		0,58		0,69		NS								
2009	0,95	0,83	0,80		0,61		0,56		0,55		NS								
2011	0,87	0,78	0,72		0,65		0,50		0,51		NS								
2013	0,71	0,63	0,56		0,59		0,44		0,26		NS								
Media	0,94	a	0,83	b	0,77	b	***		0,73	a	0,63	ab	0,49	b	**				
													1,67	a	1,47	b	1,26	c	***

Valores con la misma letra en cada fila no presentan diferencias significativas; NS (No Significativo) *** ($p < 0,01$) ** ($p < 0,05$)

En el trigo los valores medios muestran diferencias significativas entre LC y los otros tratamientos donde LM = NL, en cualquier caso este último tratamiento siempre fue inferior a LC y LM un 18% y un 7% respectivamente. Estas diferencias se deben principalmente a las emisiones debidas al combustible que, con relación al total, suponen el 25-30% para LC, 17-20% en LM 13-15% en NL. Sin embargo, la mayor incidencia en las emisiones EFP es la debida a la fertilización con un 50% el LC, 58% para LM y 62% en NL, Dentro la fertilización las emisiones equivalentes debidas al N suponen el 80-90% del total de las mismas. En las EFP no se tienen en cuenta las producidas en forma de N₂O-N que se analizarán posteriormente. Factores tales como la maquinaria, semillas y herbicidas inciden en el 20% del total.

Las emisiones equivalentes producidas por las aportaciones directas e indirectas de nitrógeno (Tabla2) muestran que los valores medios de los sistemas de laboreo presentan diferencias significativas donde el LC fue significativamente superior a NL e igual a LM. En los años 1986, 1988 y 1990 NL fue significativamente inferior a LC y LM, en 1997, NL= LM pero inferior a LC. Solamente en 1999 NL fue superior a LM e igual a LC. Desde el año 2002 no hubo diferencias significativas entre los sistemas de laboreo. Referente a las emisiones totales los valores medios mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, 24% menos en NL con respecto a LC y el 14% con relación a LM. En once de los quince años analizados no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 3.- Emisiones equivalentes debidas a los factores de producción (EFP), directas e indirectas debidas a las aportaciones de nitrógeno (EN₂-O) y totales (ET) de los cultivos de leguminosa.

Año	Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo			
	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.
	EFP (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				EN ₂ -O (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				ET (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)			
1987	0,39	0,36	0,34		0,11 a	0,07 a	-0,08 b	**	0,50 a	0,43 a	0,25 b	**
1991	0,48	0,40	0,40		0,20 a	0,13 a	-0,05 b	**	0,68 a	0,53 ab	0,35 b	***
1994	0,38	0,30	0,30		-0,59	-0,14	-0,43	NS	-0,21	0,16	-0,13	NS
1996	0,36	0,30	0,28		-0,73	-0,30	-0,59	NS	-0,37	0,00	-0,31	NS
1998	0,37	0,31	0,29		1,29 a	0,54 ab	-0,28 b	**	1,66 a	0,85 ab	0,01 b	**
2000	0,35	0,28	0,24		0,56 ab	0,26 b	0,89 a	**	0,92 ab	0,54 b	1,13 a	**
2002	0,48	0,42	0,39		-0,38	-0,02	0,16	NS	0,10	0,40	0,55	NS
2004	0,48	0,42	0,39		-0,22	0,59	0,43	NS	0,25	1,00	0,82	NS
2006	0,46	0,40	0,34		0,19	0,12	0,08	NS	0,64	0,52	0,42	NS
2008	0,38	0,32	0,34		0,27	0,20	0,18	NS	0,64	0,51	0,52	NS
2010	0,38	0,32	0,27		0,11	0,04	0,03	NS	0,49	0,36	0,30	NS
2012	0,38	0,32	0,23		0,24	0,10	0,16	NS	0,62 a	0,41 b	0,38 b	***
2014	0,32	0,26	0,22		0,70	0,50	0,66	NS	1,03	0,76	0,88	NS
Media	0,40 a	0,34 b	0,31 c	***	0,13	0,16	0,09	NS	0,53	0,50	0,40	NS

Valores con la misma letra en cada fila no presentan diferencias significativas; NS (No Significativo) *** ($p < 0,01$) ** ($p < 0,05$)

Las leguminosas también los valores medios mostraron diferencias significativas entre los tres tratamientos $LC > LM > NL$, aunque no se encontraron ni en las emisiones totales ni en las aportaciones de N. En todos los casos el tratamiento NL fue el que menos emisiones produjo ver (Tabla 3).

Comparativamente con el trigo, las EFP de las leguminosas fueron significativamente inferiores ya que a estas últimas no se les aplicó el fertilizante nitrogenado de cobertura ni el herbicida selectivo de primavera. Por otro lado, las aportaciones nitrogenadas de los residuos de heno de leguminosa se contabilizaron en los años en los que se sembró trigo. El contenido de nitrógeno de dichos residuos es mayor que el de los procedentes de los del cereal y por lo tanto mayores son las emisiones directas e indirectas de N₂O. En las emisiones totales solamente se produjeron diferencias significativas en once de los trece años analizados.

En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados del carbono fijado (FIX), relación (REL) y ganancia (GAN). El FIX es un indicador de la producción ya que es directamente proporcional a la misma, los valores medios dan al NL diferencias significativas a favor con relación a LM y LC siendo iguales estadísticamente estos últimos para el trigo. En ninguno de los años analizados NL fue inferior a LC y LM y en siete de los años no hubo diferencias significativas. Los valores obtenidos de REL indican que los tres tratamientos presentaron diferencias significativas donde $NL > LM > LC$. Esta tendencia se manifestó en once de los quince años analizados. La GAN fue significativamente mayor en NL que en LM y LC siendo iguales estadísticamente estos últimos. En ninguno de los quince años NL fue significativamente inferior a los otros tratamientos.

Tabla 4.- CO_2 fijado FIX en el grano de trigo cosechado ($Mg CO_2 eq ha^{-1}$), REL y Ganancia ($Mg CO_2 eq ha^{-1}$)

Año	Sistemas de Laboreo						Sistemas de Laboreo						Sistemas de Laboreo										
	LC		LM		NL		Nivel Sig.		LC		LM		NL		Nivel Sig.		LC		LM		NL		Nivel Sig.
	FIX (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)						REL (-)						GAN (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)										
1986	2,05	b	2,57	a	2,85	a	**	2,11	c	2,89	b	3,63	a	***	0,70	b	1,39	a	1,95	a	***		
1988	8,18	b	8,67	b	10,2	a	**	7,57	c	9,26	b	13,00	a	***	6,22	b	6,92	b	8,74	a	***		
1990	7,55		7,64		7,75		NS	4,72	b	5,51	ab	6,17	b	***	5,68	b	6,14	ab	6,72	a	**		
1992	1,02		0,91		0,83		NS	1,09		1,05		1,01		NS	-0,07		-0,50		-0,35		NS		
1993	5,32	a	6,35	ab	6,93	b	**	7,86	b	10,63	ab	12,20	a	***	5,12	b	5,81	ab	6,72	a	***		
1995	0,53		0,46		0,48		NS	0,78		0,77		0,84		NS	-0,11		-0,60		-0,29		NS		
1997	5,50		5,09		5,24		NS	5,37		5,31		6,03		NS	2,51	b	2,86	b	3,88	a	**		
1999	2,18	b	2,39	b	3,08	a	**	2,19	b	2,73	b	3,68	a	**	-0,22	b	0,52	a	0,47	a	**		
2001	4,33		4,58		4,61		NS	4,61	b	5,33	a	5,66	a	***	2,93		3,01		2,85		NS		
2003	5,68		5,84		5,93		NS	5,67	b	6,63	a	7,33	a	***	2,21	b	3,42	ab	4,15	a	**		
2005	2,47		2,31		2,21		NS	3,65		4,15		4,31		NS	0,85		1,02		1,28		NS		
2007	5,40	b	5,72	b	6,49	a	***	5,60	c	6,57	b	7,61	a	***	3,69	b	4,27	ab	4,95	a	***		
2009	0,96	b	1,24	b	1,91	a	**	1,00	b	1,48	b	2,40	a	***	-0,60	b	-0,15	ab	0,56	a	**		
2011	5,90	ab	4,30	b	7,02	a	***	6,80	ab	5,51	b	9,77	a	***	4,38	ab	3,03	b	5,79	a	**		
2013	4,18	ab	3,30	b	5,56	a	***	5,87	b	5,26	b	9,87	a	***	2,88	b	2,22	b	4,74	a	**		
Media	4,08	b	4,09	b	4,74	a	***	4,33	c	4,87	b	6,23	a	***	2,41	b	2,62	b	3,48	a	***		

Valores con la misma letra en cada fila no presentan diferencias significativas; NS (No Significativo) *** ($p < 0,01$) ** ($p < 0,05$)

En los años de leguminosas el FIX mostró diferencias significativas entre NL y LM siendo este último igual a LC. Solamente en 2012 NL fue significativamente inferior a los otros dos tratamientos y en seis años de los catorce evaluados no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Con respecto a REL, salvo en 2012 NL todos los años fue estadísticamente mayor que LC, los años 1994, 1996, 2004, 2008 y 2016 fue igual a LM.

Tabla 5.- CO_2 fijado FIX en el heno de forraje cosechado ($Mg CO_2 eq ha^{-1}$), REL y Ganancia ($Mg CO_2 eq ha^{-1}$)

Año	Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo				Sistemas de Laboreo						
	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.	LC	LM	NL	Nivel Sig.			
	FIX (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)				REL (-)				GAN (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .año ⁻¹)						
1987	9,24		9,34		9,45		NS		8,74		8,91		9,20		NS
1991	8,44		7,84		9,39		NS		7,76	b	7,32	b	9,04	a	***
1994	4,73	b	5,65	ab	6,16	a	**		4,95	b	5,49	b	6,29	a	***
1996	7,27		7,78		8,43		NS		7,64		7,78		8,74		NS
1998	7,47	ab	6,19	b	8,71	a	***		5,81	b	5,34	b	8,70	a	***
2000	9,45	a	7,94	b	8,77	ab	**		8,54	a	7,41	b	7,64	b	***
2002	5,69		5,45		5,75		NS		5,59		5,05		5,20		NS
2004	5,25		5,35		5,17		NS		5,00		4,35		4,35		NS
2006	3,95	ab	2,84	b	4,93	a	**		3,31	ab	2,32	b	4,50	a	**
2008	2,67	b	3,16	ab	3,68	a	**		2,02	b	2,65	ab	3,16	a	***
2010	5,07	a	4,07	b	4,85	a	**		4,58	a	3,72	b	4,55	a	**
2012	3,67	a	2,88	b	1,99	c	***		3,06	a	2,47	a	1,61	b	***
2014	2,73		2,68		2,38		NS		1,70		1,92		1,51		NS
Media	5,82	ab	5,48	b	6,13	a	**		5,28	ab	5,0	b	5,73	a	**

Valores con la misma letra en cada fila no presentan diferencias significativas; NS (No Significativo) *** ($p < 0,01$) ** ($p < 0,05$)

La ganancia también fue significativamente superior en NL con relación a LM e igual a LC si nos referimos a los valores medios. A lo largo de los años solamente en 2000 y 2012 NL fue estadísticamente menor que LC y en 2008 igual a LM., En cinco fechas no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, en 2000 y 2012 LC>NL el resto de los años en que hubo diferencias, LM y LC no fueron mayores que NL.

Similares resultados fueron obtenidos por West y Marland (2002), (Marland et al. 2004) al compararlas emisiones equivalentes de varios cultivos con sistemas de LC, LM y NL. Asimismo, Meyer Aurich et al (2006) utilizando un método muy similar al llevado a cabo en este trabajo también llegan a resultados muy parecidos a los nuestros.

Conclusiones

El sistema NL permite reducir las 1as emisiones de CO₂ de los factores de producción, así como las debidas a las aportaciones de N y las totales, con respecto a LM y LC tanto para el cultivo de trigo como el de heno de leguminosa.

El NL fija mayor cantidad de CO₂ que LM y LC en trigo y que LM en leguminosas para heno, siendo la REL también mayor. La ganancia fue también mayor en NL que LM y LC en trigo aunque no de manera significativa en leguminosa con respecto a LM.

El NL es sostenible en el tiempo permitiendo la reducción de emisiones de GEI.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), por el apoyo financiero dado a lo largo de los años en los que se ha llevado a cabo este trabajo (Proyectos : PR84-0495; AGR90-0088; AGF96-1138-C02-01; AGL2001-3822-C02-01; AGL2002-04186-C03-01,03; AGL2007-65698-C03-01,03 y AGL2012-39929-C03- 03,01). Por otro lado agradecen el apoyo prestado por el IMIDRA para llevar a cabo la presente investigación en la Estación Experimental "El Encín".

Bibliografía

- Montzka, S.A., Dlugokencky, E.J., Butler, J.H. 2011. Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature* 476:46–50
- Tubiello, F.N., Salvatore, M., Córdor Golec, R.D., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., Federici, S., Jacobs, H., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. 1990-2011. FAO Statistics Division Working Paper Series. ESS/14-02
- Bowers, W., 1992. Agricultural field equipment. In R.C. Fluck Ed. *Energy in farm production*. pp. 117-129. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volume 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf (verificado Marzo 2015).
- Lal R., 2004a. Carbon emission from farm operations. *Environ. Int.* 30:981–990
- Lal R., 2004b. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623–1627
- Hutchinson JJ, Campbell CA, Desjardins RL 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agric. Forest Meteorol.* 142:288–302
- Biograce., 2012. Condensed list of standard values, version 4 Public. Available from: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>. Intelligent Energy Europe Programme. Accessed in March 2013.

- Maraseni T., Cockfield G., Apan, A. 2007 A comparison of greenhouse gas emissions from inputs into farm enterprises in Southeast Queensland, Australia. *Journal of Environ. Sci. and Health, Part A* Vol. 42, 11-18,
- Marland, G., Garten Jr., C. T., Post, W. M., West, T. O. 2004. Studies on enhancing carbon sequestration in soils. *Energy*, 29(9–10), 1643-1650.
- West, T. O., Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agric., Ecosys. Environ.* 91(1–3), 217-232.
- Meyer-Aurich, A., Weersink, A., Janovicek, K., Deen, B. 2006. Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in eastern Canada. *Agric., Ecosys. Environ.* 117(2–3), 119-127.

M06 - Colheita mecânica de azeitona baseada em vibrador de troncos – atualização de custos

Almeida, A.¹ Figueiredo, T.² Fernandes-Silva, A.³

¹ Instituto Politécnico de Bragança (ESAB / IPB), Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, acfa@ipb.pt; ² Instituto Politécnico de Bragança (ESAB / IPB), Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, tomasfig@ipb.pt; ³ Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences, CITAB, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal, anaaf@utad.pt

Resumo

Resultados de capacidade de trabalho (árvores/hora) e custos de utilização (por kg azeitona colhida) obtidos em trabalho de campo realizado em Portugal ao longo de mais de cinco anos em olivais com 150 árvores por hectare (em média) foram publicados por Almeida *et al* (2001) e Almeida *et al* (2007). Dois sistemas de colheita foram utilizados, ambos com o mesmo vibrador de tronco. No sistema I a azeitona destacada foi recolhida em lonas movimentadas manualmente. No sistema II a azeitona destacada foi recolhida num apara-frutos mecânico. A capacidade de trabalho média do sistema I é de 57 árvores por hora e do sistema II é de 40 árvores por hora. Os resultados mostram que o tempo gasto no deslocamento entre árvores é importante para o valor da capacidade de trabalho. Com o sistema baseado em recolha manual foram obtidos melhores resultados de capacidade de trabalho, mas os custos de utilização do sistema baseado no apara-frutos mecânico foram mais favoráveis. Dependendo do número de árvores vibradas por hora, para o sistema I os custos médios atuais são de 0,36 € a 0,12 € por kg de azeitona colhida e para o sistema II os custos médios atuais são de 0,36 € a 0,11 € por kg de azeitona colhida. Mais de uma década após a publicação dos primeiros resultados, os preços dos equipamentos, da mão-de-obra e de outros fatores, são substancialmente diferentes, assim como o valor da azeitona. Uma atualização de custos é apresentada e analisadas as consequências para os referidos sistemas de colheita mecânica. O acréscimo de custos neste período de tempo é de 49%.

Palavras-chave: Sistemas de colheita, recolha manual, apara-frutos.

Olives mechanical harvesting trunk shaker based – costs update

Abstract

Results of work rates (trees/hour) and costs (per kg of olives harvested) from field trials performed in Portugal over more than five years in olive orchards averaging 150 trees per hectare, was published by Almeida, A. *et al* (2001) and Almeida, A. *et al* (2007). Olives were harvested using two harvesting systems, both with the same trunk shaker, but in system I olives detached were collected by canvas manually moved and in system II olives detached were collected with an inverted umbrella. The average working rate of system I is 57 trees per hour. The average working rate of system II is 40 trees per hour. Results showed that the time spent in the displacement between trees is very important for the work rate value. Labour based manual collecting was found to reach the higher working rates, whereas in terms of costs the inverted umbrella scored best results. According on the number of trees harvested per year, the actual medium costs for system I are 0,36 € to 0,12 € per kg of olives harvested and the actual medium costs for system II are 0,36 € to 0,11 € per kg of olives harvested. More than one decade after the publication of first results, equipment and labour costs are substantial different as well as olive production value. Costs are updated and analyzed the consequences for referred olive mechanical harvesting systems. The costs increase in this period of time is 49%.

Keywords: Harvesting systems, manual canvas, inverted umbrella.

Introdução

A olivicultura está em situação crítica devido ao baixo preço do produto e custos de produção elevados.

O incremento da competitividade é uma via para enfrentar o problema, reduzindo custos e simultaneamente melhorando a qualidade da produção.

Os sistemas de colheita mecânica podem contribuir para atingir estes objetivos: (1) os custos, através da redução das necessidades de mão-de-obra; (2) a qualidade, porque a melhor capacidade de trabalho (árvores/hora) aumenta consideravelmente a probabilidade de colher no período ótimo de colheita. (Amirante e Tamborino, 2012).

Baixos níveis de mecanização das operações culturais podem penalizar o setor.

São focados resultados de capacidade de trabalho (árvores por hora) e os custos de dois sistemas de colheita. É feita uma comparação de custos de 2007 a 2014.

Material e Métodos

O trabalho de campo decorreu em Portugal em olivais tradicionais, com 150 a 200 árvores por hectare, localizados no Alentejo e em Trás-os-Montes. Foram usadas nos trabalhos de campo 2850 árvores. Em Trás-os-Montes os olivais usados são constituídos por três cultivares principais: Cobrançosa, Verdeal e Madural. No Alentejo as principais cultivares são Picual e Galega.

Os sistemas de colheita mecânica estudados são baseados num vibrador de troncos montado no carregador frontal de um trator de 60kW com tração dupla. Dois diferentes procedimentos foram utilizados para a recolha da azeitona, distinguindo o sistema I e o sistema II.

No sistema I (Figura 1) os frutos destacados são recolhidos em lonas com 10 x 10 m colocadas sob a copa das árvores de uma linha e movimentadas por quatro pessoas. Numa das linhas de árvores paralela, um segundo grupo de quatro pessoas movimenta outra lona para a colocar sob a próxima árvore a ser vibrada. Um segundo trator com reboque está disponível para receber a azeitona quando as lonas se tornam demasiado pesadas e para o posterior transporte para a unidade de processamento.



Figura 1. Sistema I – destaque com vibrador de troncos; recolha manual com lonas



Figura 2. Sistema II - destaque com vibrador de troncos; recolha com apara frutos.

No sistema II (Figura 2) a azeitona destacada é recolhida por um apara frutos com 9 metros de diâmetro montado no carregador frontal do trator sob o vibrador de troncos. O apara frutos pode armazenar temporariamente numa tremonha 200/250 kg de azeitona. Por baixo da tremonha uma porta pode ser aberta hidraulicamente para permitir a descarga da azeitona.

Para avaliar a capacidade de trabalho foram medidos em segundos os seguintes tempos elementares de trabalho:

TVt – tempo médio de vibração ao tronco (sistemas I e II);

TDV – tempo médio para movimentar o trator com vibrador de troncos de uma árvore para a seguinte (sistemas I e II);

$Tdaz$ - tempo médio de descarga do apara frutos (sistema II);

Na – numero de árvores entre descargas (sistema II).

A capacidade de trabalho (CT) foi avaliada utilizando as seguintes expressões:

$$\text{Sistema I} \rightarrow CT = \frac{3600}{TVt + TDV} \quad (1)$$

$$\text{Sistema II} \rightarrow CT = \frac{3600}{TVt + TDV + \frac{Tdaz}{Na}} \quad (2)$$

Foram assumidas as seguintes premissas para avaliar os custos:

Tempo de trabalho médio de 7 horas diárias durante 50 dias por ano considerando o período de colheita de Outubro a Dezembro.

Custo de aquisição do vibrador de troncos – 25000 €. Custo de aquisição do apara frutos – 8000 €. Vida útil de 10 anos para ambos os equipamentos.

Foi assumido o custo anual de outros equipamentos como se indica:

- 10 lonas (10 x 10 m) – 80 €/ano;
- Reboque de 3500 kg – 3 €/hora (300 horas de utilização anual);
- Trator 1 (60 kW) para operar o vibrador de troncos – 35 €/hora (800 horas de utilização anual);
- Trator 2 (40 kW) para operar o reboque – 28 €/hora (800 horas de utilização anual);
- Mão-de-obra (8 elementos) – 40 €/dia/elemento;

Os custos foram avaliados de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{Sistema I} \rightarrow C = \left(\frac{CT1 + FLC + CT2 + TC}{WR} + \frac{SC + CC}{TNT} + \frac{8 \times LC}{WR \times HWD} \right) \times \frac{1}{OPT} \quad (3)$$

$$\text{Sistema II} \rightarrow C = \left(\frac{CT1 + FLC + CT2 + TC}{WR} + \frac{SC + IUC}{TNT} \right) \times \frac{1}{OPT} \quad (4)$$

C – custo/kg de azeitona colhida;

CT1 – custo/hora do trator 1;
CT2 – custo/hora do trator 2;
TC – custo/hora do reboque;
FLC – custo/hora do carregador frontal;
SC – custo/ano do vibrador de troncos;
IUC – custo/ano do apara frutos;
CC – custo/ano das lonas;
LC – custo/dia da mão-de-obra;
HWD – horas de trabalho/dia;
WR – capacidade de trabalho do vibrador de troncos;
TNT – número de árvores vibradas/ano;
OPT – produção de azeitona/árvore.

Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os resultados de capacidade de trabalho, considerando os pressupostos anteriormente referidos.

Alguns fatores são responsáveis pelo intervalo entre os valores mínimo e máximo que se verifica nos dois sistemas: A heterogeneidade dos olivais tradicionais e as diferentes condições dos solos para a transitabilidade do equipamento. Solos com boa capacidade de sustentação do equipamento permitem melhor transitabilidade, reduzindo o tempo de deslocação entre árvores, incrementando a capacidade de trabalho.

O sistema I mostra um melhor desempenho que o sistema II, mas o sistema I tem uma grande dependência da mão-de-obra, que pode por fatores subjetivos, influenciar a capacidade de trabalho do sistema I.

As Figuras 4 a 7 mostram os resultados dos custos por kg de azeitona colhida, considerando: (1) os valores de capacidade de trabalho apresentados na Figura 3 (a negrito o valor médio), (2) o número total de árvores vibradas por ano e (3) a produção por árvore.

Em olivais com produções mais baixas, um melhor desempenho do equipamento assume grande importância. Nestes olivais melhor capacidade de trabalho é mais eficaz na redução de custos do que em olivais com produções mais elevadas.

As Figuras 8 e 9 comparam os custos dos sistemas I e II, obtidos com as médias de capacidade de trabalho, considerando olivais com baixas produções (10 kg/árvore) e produção mais elevada (20kg/árvore). Os custos do sistema II são mais baixos do que os custos do Sistema I, apesar dos melhores valores de capacidade de trabalho do sistema I.

As Figuras 10 e 11 mostram a evolução dos custos de colheita de 2007 a 2014. Neste período de sete anos regista-se um aumento médio de 49% do custo de colheita, devido ao aumento dos preços de aquisição do equipamento e dos custos variáveis de utilização, de que destacamos o combustível e a mão-de-obra.



Figura 3. Valores de capacidade de trabalho

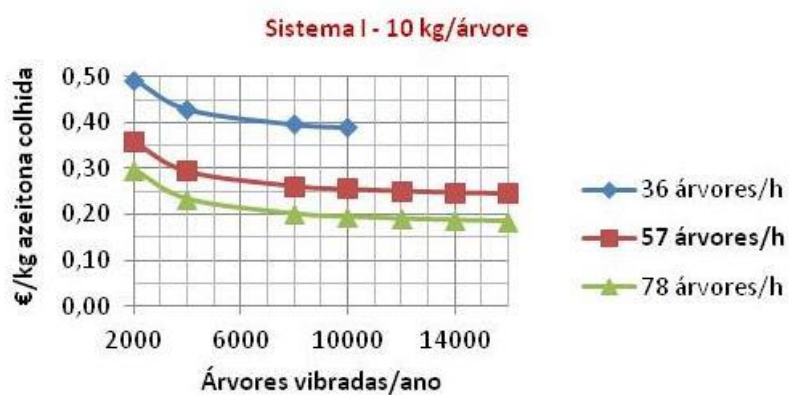


Figura 4. Sistema I – custos por kg de azeitona colhida – 10 kg/árvore

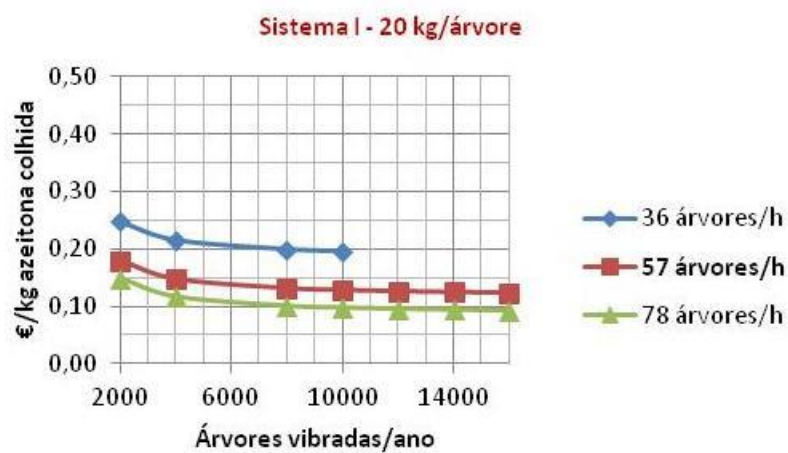


Figura 5. Sistema I – custos por kg de azeitona colhida – 20 kg/árvore

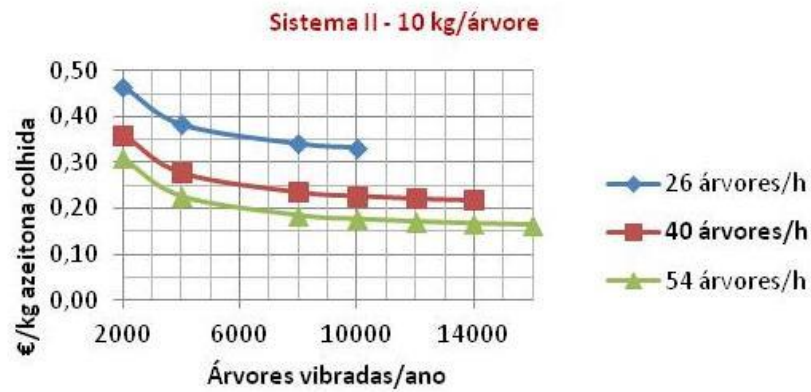


Figura 6. Sistema II – custos por kg de azeitona colhida – 10 kg/árvore

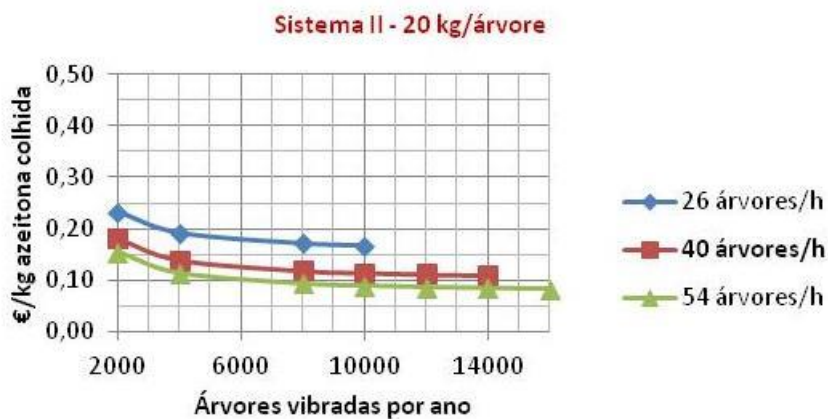


Figura 7. Sistema II – custos por kg de azeitona colhida – 20 kg/árvore

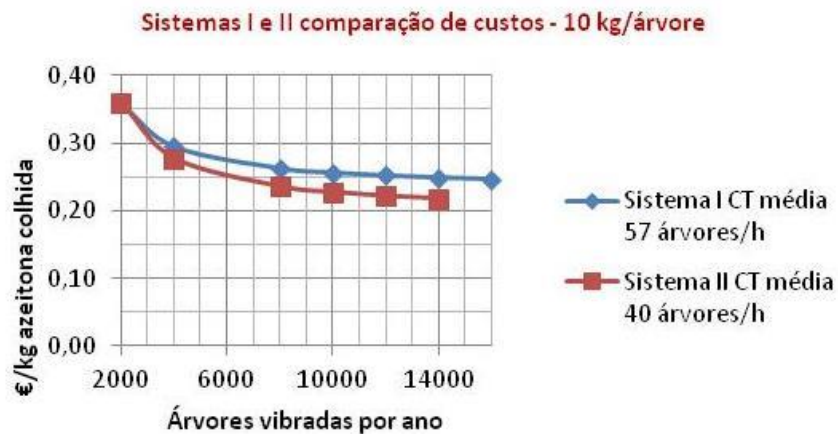


Figura 8. Comparação custos sistemas I e II – custos por kg de azeitona colhida – 10 kg/árvore

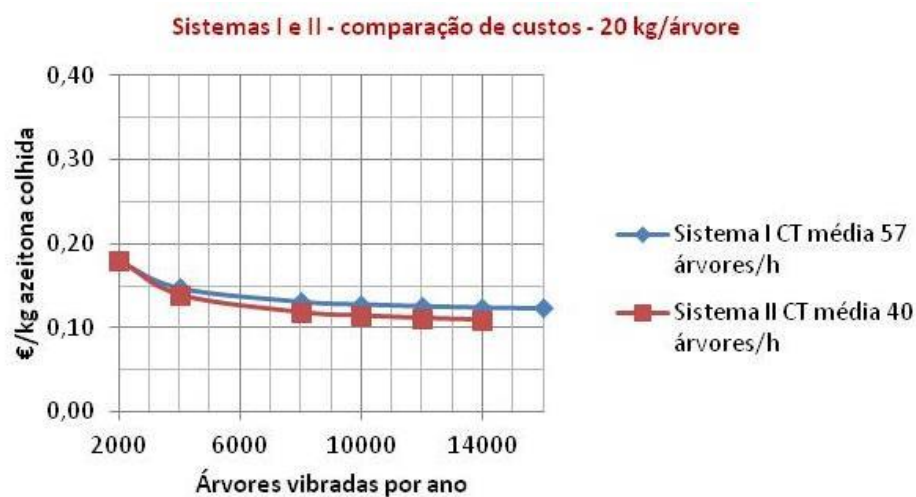


Figura 9. Comparação custos sistemas I e II – custos por kg de azeitona colhida – 20 kg/árvore

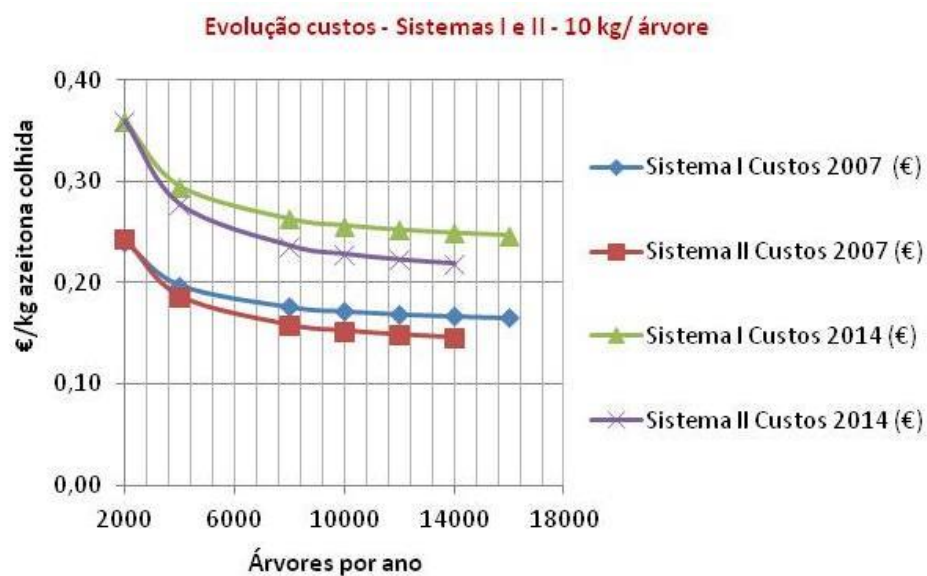


Figura 10. Sistemas I e II – evolução dos custos por azeitona colhida – 10 kg/árvore

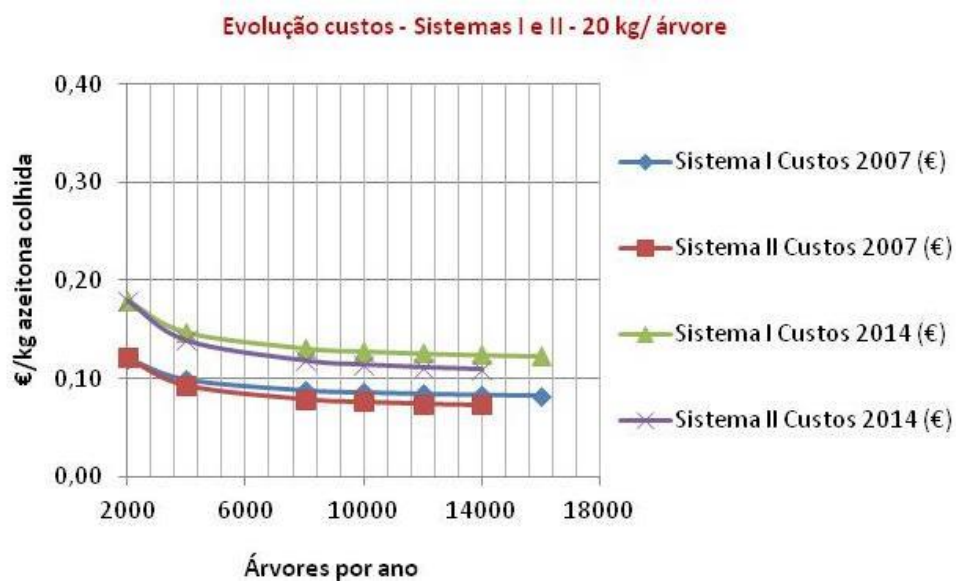


Figura 11. Sistemas I e II – evolução dos custos por azeitona colhida – 20 kg/árvore

Conclusões

Mantêm-se as principais conclusões dos trabalhos anteriores aqui referidos.

É possível obter bons resultados de capacidade de trabalho utilizando o sistema I, mas a dependência deste sistema da mão-de-obra, coloca-o em desvantagem.

Os custos por kg de azeitona colhida são mais reduzidos utilizando o sistema II. É um sistema de colheita pouco dependente da mão-de-obra. Estes dois fatores permitem considerar o sistema II recomendável para o tipo de olival estudado.

O considerável aumento dos custos de colheita verificados nos últimos sete anos – 49%, permitem concluir a necessidade de estudar meios que conduzam a uma melhoria da produção dos olivais e a uma melhor eficiência dos sistemas de colheita utilizados, aumentando a capacidade de destaque, isto é a aumentando a percentagem de frutos destacados relativamente à produção total.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do programa PRODER Medida 4.1 – cooperação para a inovação – pedido de apoio nº 44663 e o apoio dos agricultores envolvidos de que destacamos os da Quinta do Viaz.

Bibliografia

- Almeida, Arlindo; Peça, José; Pinheiro, Anacleto; Dias, António; Santos, Luís S.S.; Reynolds, Domingos; Lopes, João, 2001. Custos da colheita mecânica de azeitona utilizando vibrador e apara-frutos. In 1er Congreso Nacional de Ingeniería para la Agricultura y el Medio Ambiente. Valencia, Spain, 151-156.
- Almeida, Arlindo; Peça, José; Pinheiro, Anacleto; Dias, António; Santos, Luís S.S. dos; Reynolds, Domingos; Lopes, João, 2007. Performance of three mechanical harvesting systems for olives in Portugal. In 35th International Symposium on Agricultural Engineering. Opatija, Croatia. Actual Tasks on Agricultural Engineering, 461-466.
- Amirante, P., Tamborino, 2012. A. Olive Harvesting Systems in High Density Orchards. Acta Horticulturae nº 949, 351-358.
- Ferguson, Louise, 2006. Trends in Olive Harvesting in Trends in olive fruit handling previous to its industrial transformation. Grasas y Aceites, 57 (1): 9-15.

M07 - Análisis CFD del comportamiento de las gotas pulverizadas con un turboatomizador durante los tratamientos fitosanitarios en cítricos

Salcedo, R.¹, Vallet, A.², Granell, R.¹, Garcerá, C.¹, Moltó, E.¹, Chueca, P.¹

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - Centro de Agroingeniería. Ctra. Moncada-Náquera km 4.5, 46113 Moncada (Valencia, España). E-mail: chueca_pat@gva.es; ² Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture, 361 rue JF Breton - 34 196 Montpellier (France).

Resumen

Durante la aplicación de fitosanitarios en cultivos arbóreos sólo una fracción del caldo pulverizado alcanza la vegetación objetivo. El resto se pierde por deriva, escorrentía, etc. Estas pérdidas suponen un riesgo para el medio ambiente y las personas. Conocer a dónde se dirigen y dónde se depositan las gotas puede ayudar a mejorar la eficiencia de la maquinaria, mejorar las aplicaciones y reducir éstas pérdidas. El objetivo de este trabajo fue simular mediante CFD el movimiento y deposición de las gotas pulverizadas con un turboatomizador durante los tratamientos fitosanitarios en cítricos. Para ello se realizó una simulación basada en un modelo euleriano-lagrangiano, que incluía tanto un modelo de las corrientes de aire generadas por el equipo, como el viento atmosférico, además del comportamiento individual de las gotas. Se representó la evolución de las partículas a lo largo de la simulación y se cuantificó la parte que se perdía en la atmósfera y la que se depositaba en la vegetación o en el suelo. Los resultados predijeron que el 33% de las gotas se depositó en el árbol objetivo, el 27% se evaporaron o se escaparon del dominio por encima de los 5m, el 15% se depositaron en el suelo o abandonaron el dominio por debajo de los 5 m y el 25% restante se depositó en los árboles de la segunda y tercera fila. El tamaño de las gotas va disminuyendo en el tiempo, de ahí que en cada destino predominen gotas de diferente tamaño, por ejemplo, en el árbol objetivo las gotas eran mayores que las que se perdían por deriva. Por tanto, los porcentajes de caldo respecto al total pulverizado fueron: el 44% terminó en el árbol objetivo, el 28% en los árboles adyacentes, el 20% en el suelo y un 8% se perdió como deriva.

Palabras clave: deposición, deriva, modelo euleriano-lagrangiano

CFD analysis of the behaviour of droplets from an air-blast sprayer during pesticide application on citrus

Abstract

During the application of pesticides in tree crops, only a fraction of the applied volume reaches the target vegetation while the rest is lost through drift, runoff, etc. These losses pose a risk to the environment and people. Knowing the behaviour of spray droplets can help to improve the application efficiency and reduce losses. Therefore, the aim of this study was to analyze through CFD the behaviour of the droplets sprayed with an air-blast sprayer for pesticide applications on citrus. A CFD simulation based on an eulerian-lagrangian model was proposed to simulate both air current of the sprayer and atmospheric wind current, besides the individual behaviour of the droplets. Monitoring of the evolution of the droplets along the model was made to see which part was lost in the atmosphere and which part was deposited on vegetation or ground. Model results predict that 33% of the droplets were deposited in the target tree, 27% of the droplets were evaporated or escaped from the domain above 5m high, 15% were deposited on the ground or left the domain from below 5 m high and the remaining 25% were deposited on the trees of the second and third row. The size of droplets decreases along the time so in each destine predominates a range of droplet size. For example, droplets deposited over the objective tree were higher than evaporate droplets. Therefore, the percentages of sprayed volume were: 44% of the total amount sprayed ended in the treatment target tree, 28% in adjacent trees, 20% was deposited on the ground and 8% was lost as atmospheric drift.

Keywords: deposition, drift, eulerian-lagrangian model.

Introducción

Durante las aplicaciones de fitosanitarios no todo el producto pulverizado alcanza la vegetación objetivo (Chen *et al.*, 2013). Una fracción de la pulverización cae directamente al suelo, otra se evapora rápidamente y parte se dispersa hacia la atmósfera, dejando el área objeto del tratamiento, proceso que se conoce como deriva (ISO 22866, 2005). Además, parte del caldo que alcanza la vegetación se escurre de los árboles y cae al suelo, que es lo que se denomina escorrentía. Estas pérdidas pueden suponer un riesgo para la salud de las personas y para el medio ambiente (Gil y Sinfort, 2005; Aktar *et al.*, 2009; Felsot *et al.*, 2010; Cunha *et al.*, 2012). Entre los factores que determinan la eficiencia las aplicaciones están el equipo de aplicación, el producto, la plaga o enfermedad que se trata de controlar, las condiciones ambientales y el cultivo.

España es uno de los principales productores mundiales de cítricos y el primer exportador para su consumo en fresco. La aplicación de pesticidas para la protección de este cultivo suele realizarse con equipos hidráulicos asistidos por aire también conocidos como turboatomizadores. En estos equipos, las gotas de caldo fitosanitario generadas por su paso a presión por las boquillas, son transportadas por la corriente de aire generada por el ventilador del equipo.

Para mejorar la eficiencia de las aplicaciones es necesario conocer el comportamiento de la pulverización durante la aplicación de los tratamientos fitosanitarios. Existen estudios experimentales de campo basados en el balance de masas durante las aplicaciones en cítricos. Así, Salyani *et al.* (2007) cuantificaron la deposición media sobre los árboles objetivo en un 76%, la deriva atmosférica en un 8% y las pérdidas de caldo fitosanitario en el suelo en un 13% en las condiciones agroclimáticas de Florida. En condiciones mediterráneas, Moltó *et al.* (2011) cuantificaron la deposición media sobre los árboles objetivo en un 40%, la deposición en los árboles de las calles adyacentes en un 10%, la deriva atmosférica en un 17%, las pérdidas de caldo fitosanitario en el suelo en un 23% (16% por pérdidas directas en la calle pulverizada y 7% por deriva depositada en las calles adyacentes) y se desconoce el destino para un 10%. La información obtenida a partir de los resultados de estas experiencias es muy importante, no obstante, hay que tener en cuenta que dependen de las condiciones meteorológicas específicas de los días de ensayo. Por otra parte, no es posible detectar las irregularidades espaciales en la nube de gotas, ya que están limitados por el número, la localización y la altura de los colectores que recogen las partículas. Además, son costosos tanto en tiempo como en recursos, humanos y económicos.

Para completar los conocimientos y visualizar el comportamiento de la nube de pulverización en general y de las gotas en particular, hoy en día existe la posibilidad de elaborar modelos lagrangianos que describen el comportamiento individual de partículas en el seno de un flujo. Sin embargo estos modelos no describen las corrientes turbulentas de aire, como las que salen del ventilador de un turboatomizador. Para ello es necesario integrar estos modelos con modelos eulerianos de dinámica de fluidos computacional (CFD) que usan métodos numéricos para resolver las ecuaciones de flujo de Navier-Stokes. Estos modelos permiten incluir numerosas variables que son muy difíciles de controlar en los experimentos de campo, como las condiciones meteorológicas del entorno (Reichard *et al.*, 1992), las características de la maquinaria (Delele *et al.*, 2007) y la estructura de la vegetación (Sanz, 2003). Por tanto, el objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un modelo euleriano-lagrangiano, que

simulara tanto las corrientes de aire del equipo y viento como el comportamiento individual de las gotas durante la aplicación de fitosanitarios en una plantación de cítricos en condiciones mediterráneas.

Materiales y Métodos

Características del modelo

Para desarrollar el modelo euleriano-lagrangiano de gotas se utilizó el modelo de flujo del aire de un turboatomizador en cítricos diseñado y validado por Salcedo *et al.* (2015). El dominio del modelo tenía 13 m de alto y 21 m de largo y en su interior se consideraron tres copas en representación de una sección de tres filas de cultivo (Figura 1). Basándose en experiencias previas (Salcedo *et al.*, 2013), la primera copa se diseñó como un cuerpo sólido y las otras dos copas como cuerpos porosos. La salida de aire (secciones A y B) representa a un ventilador enfrentado al primer alineado con el tronco y en posición estática. Para el mallado se utilizó una malla estructurada con celdas cuadriláteras de distribución uniforme.

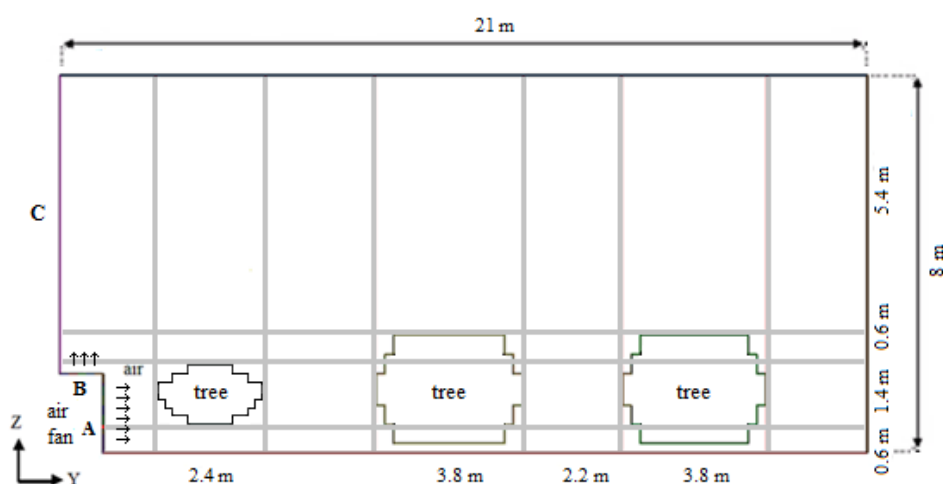


Figura 1. Dominio del modelo

En dicho modelo para simular el viento se introdujo el perfil de viento propuesto por Arya (1988). La dirección del viento se consideró perpendicular a las líneas de cultivo, la velocidad del viento de 1 m/s a una altura de 7 m respecto al suelo y la longitud de rugosidad de 0.001 m.

Para simular las gotas de la pulverización se introdujeron 1500 gotas y se seleccionó un seguimiento estocástico. La salida de las gotas en el modelo se definió en base a la posición del equipo respecto a las superficies A y B y la inclinación de cada portaboquillas respecto a la horizontal α en el trabajo de Moltó *et al.* (2011) (Figura 2). Se consideró que el espectro de tamaños de las gotas seguía una distribución de Rosin-Rammler. Para definir la distribución en el código CFD se introdujo un valor de 1 μm como diámetro mínimo, como diámetro medio se consideró un valor de 350 μm , que es el proporcionado por boquillas usualmente empleadas en tratamientos de cítricos, y como valor máximo la $Dv90$ que se corresponde con un valor de 444 μm . Para el parámetro de distribución de tamaños se consideró el valor de 5.3 calculado mediante la expresión de la distribución de Rosin-Rammler y los valores de los diámetros indicados.

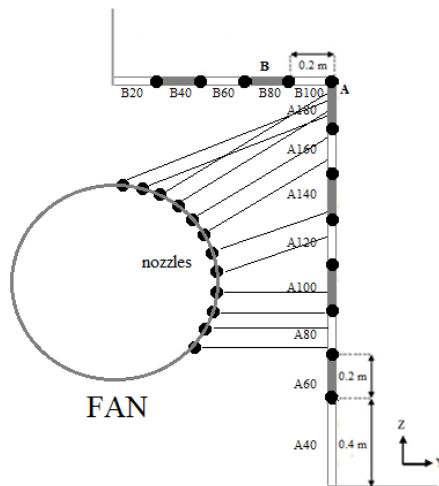


Figura 2. Posición de las boquillas y tramos por donde pasarán las gotas.

Para la modelización del aire y las gotas del pulverizador se utilizó el programa ANSYS Fluent (ANSYS, Inc. Canonsburg, PA, USA). Todos los parámetros simulados presentaron un valor mínimo del residuo normalizado de 10^{-4} .

La simulación se dividió en dos etapas teniendo en cuenta que se consideró que el equipo avanzaba por la calle de la plantación a una velocidad de 1.65 km/h. Una primera etapa que abarcaba desde el instante inicial ($t=0$ s) hasta $t=0.35$ s que era el tiempo en el que el equipo pasaba por la sección estudiada y por tanto las gotas eran pulverizadas y transportadas con el flujo del aire generado por el ventilador y una segunda etapa desde $t=0.35$ s hasta que todas las gotas se habían depositado, evaporado o abandonado el dominio. En esta etapa se consideraba que el equipo se ha movido de su posición inicial y únicamente intervenía la acción del viento ambiental.

Resultados y Discusión

El comportamiento de las gotas pulverizadas a través del tiempo en la simulación puede observarse en la Figura 3 donde se presenta la posición de las partículas en seis momentos distintos de la simulación desde que salen de las boquillas. En los primeros 0.35 s un 33% de las gotas se depositaron sobre el primer árbol (Figura 23) mientras que alrededor de la mitad de las gotas (48%), siguieron el flujo ascendente del ventilador cuando choca contra el árbol, permaneciendo en el aire sobre la primera copa sobrepasando los 5.0 m de altura. Otra parte de las gotas (15%) pasaron por el espacio entre el primer árbol y el suelo y alcanzaron el segundo árbol. El 4% de las gotas restantes se evaporaron.

A los 2.35 s únicamente el 42% de las gotas iniciales permanecía en la simulación. La nube de gotas se encontraba a la altura del comienzo del segundo árbol, una parte importante de la misma por encima del árbol y una pequeña parte a la altura del tronco. En este tiempo, un 9% del total de gotas se depositó en el segundo árbol y un 15% se evaporó.

Pasados 8.35 s sólo el 12% de las gotas iniciales seguían en la simulación, el resto se habían depositado o evaporado. Las gotas seguían desplazándose hacia la derecha y se encontraban repartidas entre la segunda calle y cerca de los límites del dominio.

En el instante 11.35 s la nube de gotas sigue desplazándose hacia la derecha y parte de las gotas han salido del dominio, sólo un 7% del total de gotas continuaban en el aire, ubicadas en la zona del tercer árbol.

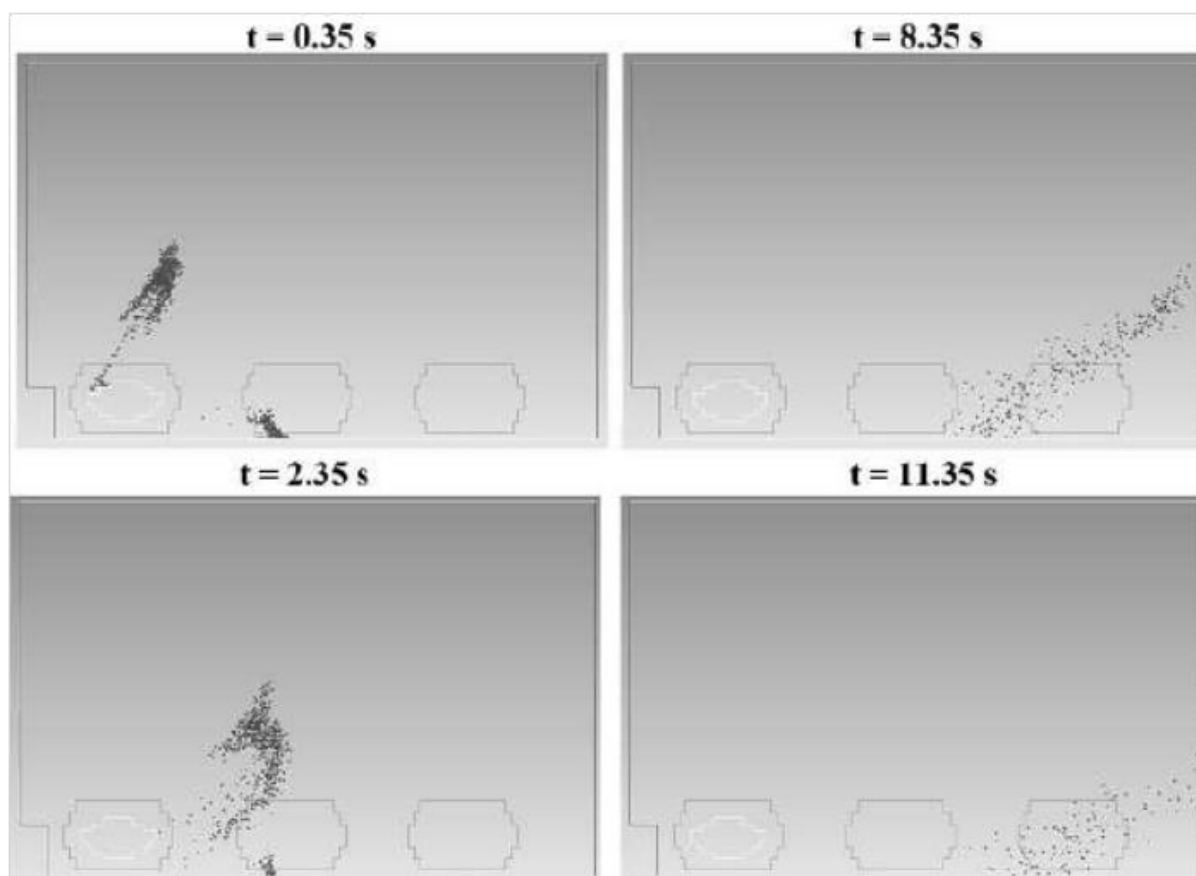


Figura 3. Posición de las gotas en seis momentos diferentes de la simulación desde que salen de las boquillas.

Los resultados de la simulación predijeron que el 33% de las gotas se depositó en el primer árbol, el 25% de las gotas se repartió entre el segundo y el tercer árbol, el 27% de las gotas se evaporó o se escapó del dominio por encima de los 5.0 m y el 15% de las gotas se depositaron en el suelo o abandonado el dominio por debajo de los 5.0 m. El tamaño de las gotas va disminuyendo en el tiempo, de ahí que en cada destino predominen gotas de diferente tamaño, por ejemplo, en el árbol objetivo las gotas eran mayores que las que se perdían por deriva. Por tanto, los porcentajes de caldo respecto al total pulverizado fueron: el 44% terminó en el árbol objetivo, el 28% en los árboles adyacentes, el 20% en el suelo y un 8% se perdió como deriva.

Conclusiones

Este trabajo concluye que el modelo euleriano-langrangiano en 2D propuesto representa de forma adecuada el movimiento de las gotas durante la aplicación de tratamientos fitosanitarios en cítricos, por lo que se presenta como una herramienta apropiada para estudiar el balance de masas de estas aplicaciones.

Agradecimientos

Esta investigación estuvo financiada por el Ministerio de Economía de España (proyecto AGL2007-66093-C04-01 y AGL2010-22304-C04-01) y la Fundación Europea para el Desarrollo Rural (FEDER). Ramón Salcedo es poseedor de una beca predoctoral FPI-INIA.

Bibliografía

- Aktar, M.W., Sengupta, D., Chowdhury, A., 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdiscip. Toxicol.* 2, 1–12. doi:10.2478/v10102-009-0001-7
- Arya, S.P., 1988. *Introduction to micrometeorology*. Academic Pres, San Diego.
- Chen, Y., Ozkan, E., Zhu, H., Derksen, R., and Krause, C. R. 2013. Spray deposition inside tree canopies from a newly developed variable-rate air-assisted sprayer. *T. ASABE* 56(6): 1263-1272.
- Cunha J.P., Chueca P., Garcerá C., Moltó E. 2012. Risk assessment of pesticide spray drift from citrus applications with air-blast sprayers in Spain. *Crop Prot* 42: 116-123. doi: 10.1016/j.cropro.2012.06.001
- Delele, M.A., Jaeken, P., Debaer, C., Baetens, K., Endalew, A.M., Ramon, H., Nicolaï, B.M., Verboven P., 2007. CFD prototyping of fan air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction. *Comput. Electron. Agric.* 55, 16-27.
- Felsot A.S., Unsworth J.B., Linders J.B.H.J., Roberts G., Rautman D., Harris C., Carazo E., 2010, Agrochemical spray drift; assessment and mitigation—A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 46:1, 1-23.
- Gil, Y., Sinfert, C., 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmos. Environ.* 39, 5183–5193. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.05.019
- ISO, 2005. ISO/FDIS 22866. Equipment for crop protection. Methods for the field measurement of spray drift. International Standards Organization, Geneva (Switzerland).
- Moltó, E., Cruz, C., Chueca, P., 2011. Balance de masas en las aplicaciones de fitosanitarios en cítricos. *Levante Agríc. Rev. Int. Cítricos* 405, 79–87.
- Reichard, D.L., Zhu, H., Fox, R.D., Brazee, R.D., 1992. Computer simulations of variables that influences spray drift. *Trans. ASAE*. 35, 1401-1407.
- Moltó E., Salcedo, R., Garcerá, C., Palau, G., Granell, R., Chueca, P. 2013. Validación de un modelo CFD del comportamiento del aire producido por un turboatomizador frente a la copa de un naranjo. En: Ayuga *et al.*, (eds). *Libro de Actas. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*. UPM. Madrid, España. pp. 434-439. ISBN 10: 84-695-9055-3 y ISBN 13: 978-84-695-9055-3
- Salcedo, R., Garcerá, C., Granell, R., Chueca, P., Moltó, E. 2015. Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus. *Span. J. Agric. Res.* 13 (2) (in press).
- Salyani, M., Farooq, M., Sweeb, R., 2007. Spray depositions and mass balance in citrus orchards applications. *Trans. ASABE*. 50, 1963-1969.
- Sanz, C., 2003. A note on k-ε modelling of vegetation canopy air-flows. *Bound.-Layer Meteor.* 108, 191-197.

M08 - Efecto de boquillas de baja deriva y convencionales sobre la deriva y el control de *Aonidiella aurantii* (Maskell) en cítricos

Garcerá, C.¹, Moltó, E.¹, Abad, R.², Insa, J.A.², Torrent, X.³, Román, C.³, Planas, S.³, Chueca, P.¹

¹ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - Centro de Agroingeniería. Ctra. Moncada-Náquera km 4.5, 46113 Moncada (Valencia). E-mail: chueca_pat@gva.es; ² Dow Agrosiences Iberica S.A. C/ Ribera de Loira 4-6, 28042 Madrid; ³ Universitat de Lleida. Dep. Ingeniería Agroforestal- Agrotecnio. Avenida Rovira Roure 191, 25198 Lleida

Resumen

La deriva es la mayor fuente de contaminación durante los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Una de las tecnologías efectivas para su reducción es el uso de boquillas de baja deriva (LDN). Sin embargo, su uso podría afectar la eficacia de control. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de LDN sobre la deriva y la eficacia de los tratamientos fitosanitarios en el control de *Aonidiella aurantii* en cítricos frente a boquillas convencionales (STN). Para evaluar la deriva se realizó un ensayo siguiendo la metodología de la norma ISO 22866 en una parcela comercial de Clemenules. Para evaluar la eficacia se llevó a cabo un ensayo en una parcela comercial de Clemenules y se emplearon los siguientes productos: Reldan® E + Atominal® 10 EC, Reldan® E y aceite parafínico contra la primera, segunda y tercera generación respectivamente. En ambos casos las aplicaciones se realizaron con un volumen de caldo de aproximadamente 2500 L ha⁻¹, empleando un turboatomizador. Se aplicó un tratamiento con boquillas STN Teejet de disco y núcleo, y otro con boquillas LDN Albuz modelo TVI, seleccionando en cada ensayo el diámetro adecuado para ajustar el volumen aplicado a las características de cada parcela. En el ensayo de eficacia también hubo un tratamiento Control (sin insecticidas). Los resultados mostraron que la boquilla LDN redujo en un 22.7% la deriva depositada. No se encontraron diferencias significativas de eficacia entre los tratamientos con LDN y STN, pero sí entre estos y el Control. Por lo tanto, se deduce de este trabajo que las boquillas LDN son la solución para reducir la deriva en tratamientos contra *A. auranti* en cítricos sin comprometer la eficacia.

Palabras clave: deposición, eficacia, pulverizador asistido por aire, piojo rojo de California, metil-clorpirifos, clementino.

Effect of low-drift and standard nozzles on drift and the control of *Aonidiella aurantii* (Maskell) in citrus

Abstract

Drift is the major pollution source from the application of plant protection products on fruit trees. Low drift nozzles (LDN) are an effective technology for drift reduction. However, use of LDN may affect the efficacy of plant protection products for controlling targeted pests. The aim of this work was to assess the effect of LDN on drift and on the efficacy of pesticide treatments for the control of *Aonidiella aurantii* in citrus respect to standard nozzles (STN). To evaluate drift a trial following ISO 22866 (2005) standard was performed on a commercial Clemenules orchard. To evaluate the efficacy a season-long trial was conducted on a commercial Clemenules orchard and the following products were sprayed: Reldan® E + Atominal® 10 EC, Reldan® E y mineral oil against the first, second and third generation respectively. In both cases, all the applications were made at a volume rate of around 2500 L ha⁻¹, using an axial fan air-blast sprayer. One treatment with disc and core Teejet STN, and another with Albuz LDN TVI model were performed, selecting in each trial the suitable diameter to adjust the volume rate to the orchard. In the efficacy trial a Control treatment of no insecticide application against *A. aurantii* was also performed. Results showed that LDN reduced sedimenting spray drift in a 22.7%. No statistical differences in efficacy between STN and LDN were found. However, differences between them and the Control treatment were found. Therefore, the conclusion of this work is that the LDN are the solution to reduce drift against *A. auranti* in citrus without affecting the efficacy.

Keywords: deposition, efficacy, air-blast sprayer, California red scale, methyl-chlorpyrifos, clementine.

Introducción

La aplicación de productos fitosanitarios puede plantear riesgos para la salud humana y el medio ambiente que necesariamente han de reducirse. A pesar de los esfuerzos de los usuarios de plaguicidas y los fabricantes por mejorar la aplicación de los tratamientos pesticidas, parte de los productos se dispersa en la atmósfera, alejándose de la zona tratada, y que se conoce como deriva. La deriva es especialmente crítica cuando se pulverizan frutales, viña y cítricos donde los productos fitosanitarios se utilizan regularmente de forma intensiva. En estos cultivos normalmente se emplean pulverizadores asistidos por aire con boquillas que generan un cono de gotas finas que tienen una gran tendencia a la deriva y se evaporan rápidamente (Fox *et al.*, 1985). En cítricos se ha demostrado que la deriva depende de varias variables como el diseño del pulverizador, el volumen de pulverización, etc (Salyani *et al.*, 2013). Las boquillas cónicas de baja deriva de inyección de aire (LDN) generan gotas grandes que tienen una menor tendencia a la deriva (Guler *et al.*, 2006). En este contexto, la capacidad de reducción de la deriva de estas boquillas se ha evaluado en frutales, tanto a nivel de campo como de laboratorio (Van de Zande *et al.*, 2012; Planas *et al.*, 2013). Sin embargo, debido al cambio en el tamaño de la gota, el uso de LDN puede afectar a la eficacia de los productos fitosanitarios para el control de plagas.

Se han realizado estudios de caracterización de la eficacia biológica de LDN en algunos cultivos como manzanos (Heinkel *et al.*, 2000; Knewitz *et al.*, 2002; Frießleben, 2004; Lešnik *et al.*, 2005; McArtney y Obermiller, 2008), pero no hay estudios en cítricos. Esto es, probablemente, porque los cítricos principalmente se encuentran en regiones donde, por el momento, el uso de LDN no está muy extendido. Esto es significativo porque en contraste con los manzanos, los cítricos tienen una forma globular y una vegetación muy densa, circunstancias que pueden afectar a la distribución de la pulverización en la vegetación y a la deriva.

Por estas razones, el objetivo de este trabajo fue evaluar la deriva durante la aplicación de tratamientos fitosanitarios en cítricos y la eficacia de la aplicación de insecticidas para el control del piojo rojo de California (CRS) (*Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae)) en cítricos en condiciones mediterráneas con boquillas cónicas convencionales (STN) y LDN, ambas instaladas en pulverizadores hidráulicos asistidos por aire con ventilador axial.

Material y Métodos

Evaluación de la deriva

La evaluación de la deriva se realizó siguiendo la metodología establecida en la norma ISO 22866 que consiste en pulverizar una mezcla de agua y un trazador sobre una parcela de cultivo, y en cuantificar la deriva que se produce durante dicho tratamiento en colectores situados en una parcela colindante sin vegetación y a sotavento de la misma. Las aplicaciones se realizaron en una parcela comercial de Clementina cv. Clemenules (*Citrus clementina* Hort. ex Tan.), localizada en Montserrat (Valencia, España) (39° 22' 00" N, 0° 35' 17" W) y se llevaron a cabo un total de 10 experiencias, 5 para una boquilla de baja deriva (LDN) y 5 para una boquilla convencional (STN). Las boquillas se

colocaron en un pulverizador hidráulico asistido por aire con ventilador axial convencional (modelo Futur 2000, Pulverizadores Fede S.A., Cheste, España) y se aplicó un volumen de caldo de alrededor de 2500 L ha⁻¹. Las características de la plantación y los parámetros y las condiciones operativas de los pulverizadores en los ensayos se muestran en la Tabla 1.

Los colectores se colocaron en la parcela adyacente y se situaron a distintas distancias del borde de la parcela de ensayo, entre 1.5 y 40 m. Los primeros a una distancia de 1.5 m del borde y los sucesivos cada 2.5 m hasta llegar a 20 m y cada 5 m hasta llegar a 40 m. En cada una de estas distancias, se colocaron 3 colectores horizontales, separados 1.5 m entre sí (Figura 1). Tras la pulverización, y una vez secos los colectores, se recogieron y se llevaron a laboratorio para proceder a la extracción del caldo pulverizado y a su análisis. La cantidad de caldo depositada en cada colector obtenida en los análisis (μl) se dividió por la superficie del colector (μl cm⁻²) y se expresó como porcentaje de deriva (%), relacionándola con el volumen de aplicación (L ha⁻¹). En cada experiencia y para cada distancia se calculó la media de los tres colectores que había por distancia. Para determinar la deriva de los dos tipos de boquillas se calculó la media y el error estándar para cada distancia considerando los valores de las 5 repeticiones. Posteriormente, se calculó la reducción de deriva conseguida con la boquilla LDN respecto a la STN.

Previamente al ensayo experimental del campo, en el laboratorio del Centro Tecnológico Maqcentre (Lleida) se midió el porcentaje de volumen con gotas de un diámetro menor de 200 μm para cada boquilla (V200), para lo que se caracterizó el espectro de gotas a la presión de trabajo mediante un láser Phase Doppler Particle Analyzer (57X10 Dantec Dynamics A/S. Skovlunde, Dinamarca).

Tabla 1. Características de la plantación y parámetros y condiciones operativas de los pulverizadores en los ensayos

		Ensayo de deriva		Ensayo de eficacia	
Marco de plantación (entre filas x entre árboles) (m)		5.00 x 3.50		6.50 x 3.50	
Copa	Tamaño *	2.75 x 2.90 x 3.70		2.70 x 3.70 x 4.70	
	Volumen (elipsoide) (m ³)	14.6		25.20	
Pulverizador	Boquillas operativas (número)	16		26	
	Velocidad de avance (km h ⁻¹)	1.58		1.45	
	Caudal de aire (m ³ h ⁻¹)	69700		67000	
	TDF (rev. per min)	480		490	
Boquillas	Tipo	LDN	STN	LDN	STN
	Modelo	Albuz TVI 8003 Azul	Teejet D3DC35 Marrón	Albuz TVI 8002 Amarilla	TeeJet D6DC23 Verde
	Presión de trabajo (bar)	10			
	*Alto (m) x Ancho a lo largo de la fila (m) x Ancho a través de la fila (m)				

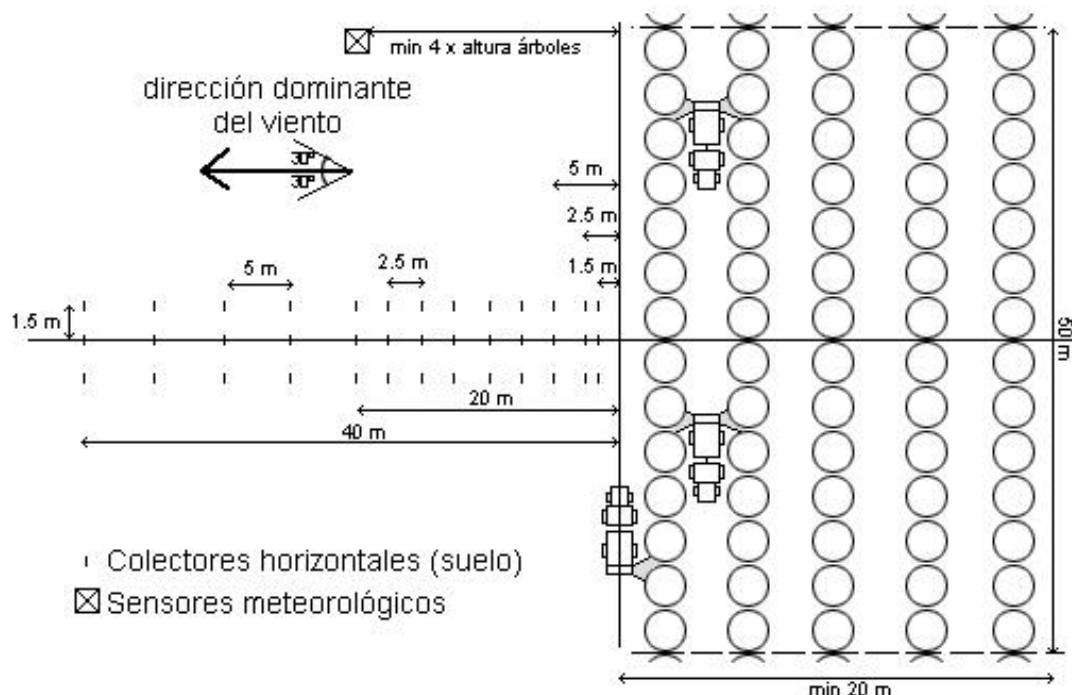


Figura 1. Descripción de la zona de ensayo (parcela y colectores)

Evaluación de la eficacia

La evaluación de la eficacia se realizó durante la campaña de 2014 en una parcela comercial de Clementina cv. Clemenules, situada en Lliria (Valencia, España) ($39^{\circ} 43' 58''$ N, $0^{\circ} 35' 32''$ W) en la que se compararon tres tratamientos, uno con boquilla convencional (STN), otro con boquilla de baja deriva (LDN), y un tratamiento control sin aplicación de insecticidas.

Todas las aplicaciones se realizaron con un volumen de caldo de aproximadamente 2500 l ha^{-1} . Los tratamientos con insecticidas se aplicaron con un pulverizador asistido por aire con ventilador axial (modelo Futur 3000, Pulverizadores Fede S.A.). Las condiciones del ensayo se muestran en la Tabla 1.

Las aplicaciones se realizaron tres veces durante la campaña, cuando se identificaron los picos de estadios susceptibles de cada generación de CRS. En primavera (29-30 Mayo 2014) se realizó la primera aplicación, pulverizando una mezcla de Reldan® E a una concentración de 400 mL hL^{-1} (Dow AgroSciences Ibérica S.A., Madrid, España) y Atominal® 10 EC a una concentración de 50 mL hL^{-1} (Sumimoto Chemical Co. Ltd., Tokio, Japón); en verano (11-13 Agosto 2014) se realizó la segunda aplicación, pulverizando sólo Reldan® E a una concentración de 400 mL hL^{-1} ; y en otoño (6-7 Octubre 2014) se realizó la tercera aplicación, pulverizando aceite parafínico a una concentración de 1500 mL hL^{-1} (Agroil. Sipcam Inagra, S.A., Valencia, España).

El ensayo se realizó con un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones. En cada repetición, los muestreos se realizaron sobre los 8 árboles centrales de cada subparcela para evitar la posible interacción del tratamiento de las subparcelas colindantes. Los tratamientos se asignaron a cuatro subparcelas en base a la densidad de CRS en el momento de la cosecha de la campaña anterior (2013), de forma que no

hubiese diferencias estadísticamente significativas en la infestación inicial entre tratamientos (Figura 2).

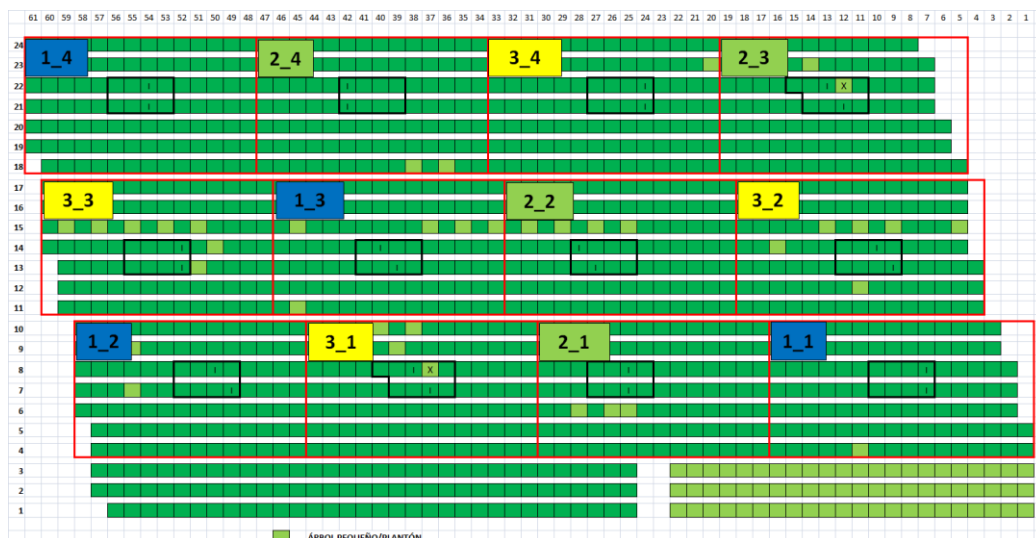


Figura 2. Diseño experimental en el ensayo de eficacia. T1 (Azul) = Control, T2 (Verde) = LDN y T3 (Amarillo) = STN

La eficacia de cada tratamiento contra *Aonidiella aurantii* se evaluó estimando el nivel de infestación 45 días después del tratamiento (DAT) contra la primera y la segunda generación, y justo antes de la cosecha (25 Noviembre 2014). El nivel de infestación se obtuvo contando los escudos presentes en 30 frutos alrededor de la copa de cada árbol de muestreo (30*8= 240 frutos muestreados por repetición). Se calculó el porcentaje de frutos con más de 10 escudos. Los frutos se seleccionaron de dos alturas (alto y bajo) y cinco localizaciones por altura, correspondientes a las cuatro caras y el interior de la copa. Se estudió la distribución de la infestación de CRS en la copa en el momento de cosecha.

El número de escudos/fruto se estudió con el test de Dunnett para determinar si los tratamientos con aplicación de insecticidas se diferenciaron significativamente del Control en cada muestreo. Para estudiar si la evolución de este parámetro a lo largo de la campaña fue diferente entre los tres tratamientos, se realizó un ANOVA multifactorial del nivel de infestación con los factores *Tratamiento* y *Fecha de muestreo*. El porcentaje de frutos con más de 10 escudos se analizó con un ANOVA multifactorial tras realizar una transformación de arco seno de la raíz (x) de los datos, con los mismos factores que en el análisis anterior.

Resultados y Discusión

Deriva

El porcentaje de volumen con gotas de un diámetro menor de 200 μm (V200) de la boquilla LDN-Albuz TVI 8003 fue 9.28, mientras que el de la STN-Teejet D3DC35 fue 48.92, es decir, la boquilla STN tiene mayor fracción de gotas pequeñas, más susceptibles a la deriva.

Las LDN redujeron la deriva sedimentada en un 22.7% respecto a las STN (Figura 3). Se observa que la deriva generada por las LDN en las zonas próximas a la última fila de árboles (distancia 1.5 y 2.5 m) fue igual o superior a la generada por las STN. Sin

embargo, a partir de los 2.5 m de distancia las STN presentaron mayor deriva que las LDN. Estos resultados coinciden con los aportados por Chueca *et al.* (2013), que demostraron que en plantaciones frutales de diferentes tipologías y cultivos, incluyendo cítricos, la deposición generada en la calle adyacente a la del tratamiento con boquillas convencionales siempre era menor que la generada con boquillas de baja deriva. Sin embargo, en las calles siguientes, la deposición con las boquillas convencionales era superior y alcanzaba distancias más grandes. Meli *et al.* (2003) también observó esta tendencia en cítricos, aunque en este trabajo sólo midieron la deriva hasta una distancia de 7.5 m a la parcela de aplicación.

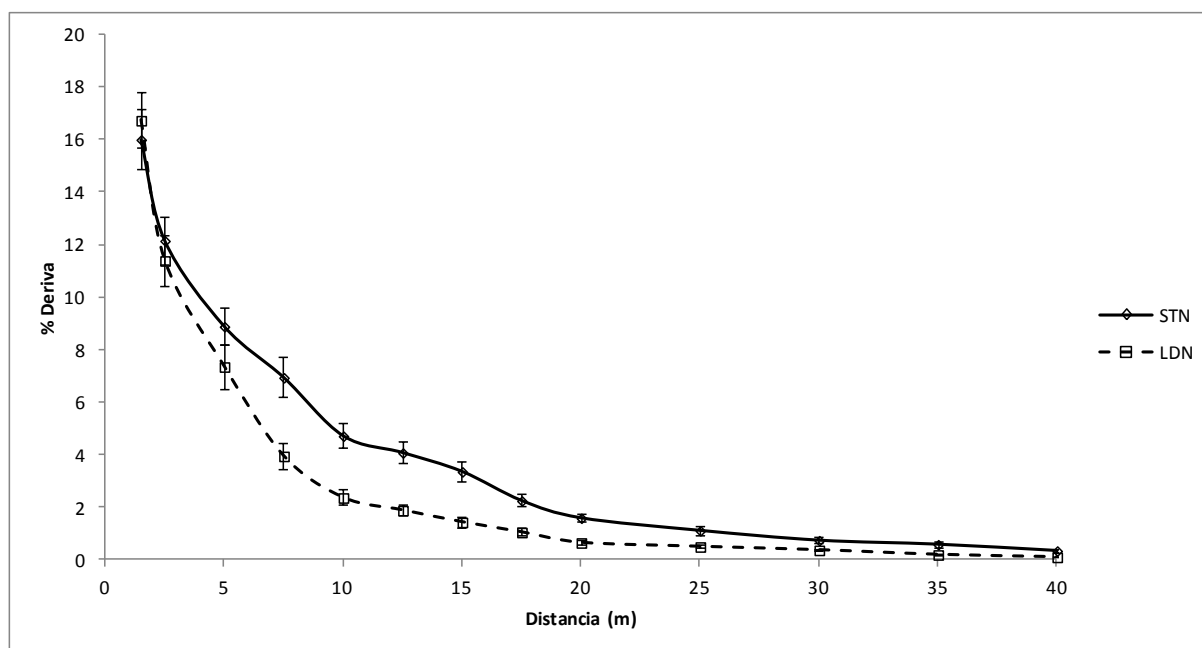


Figura 3. Porcentaje de deriva (media \pm error standard (ES)) en cada distancia a sotavento (m) de la última fila de árboles para las aplicaciones con STN (TeeJet D3DC35 Marrón) y LDN (Albuz TVI 8003 Azul)

Eficacia contra Aonidiella aurantii

La evolución del número de escudos por fruto a través de los muestreos fue significativamente diferente entre tratamientos en cuanto al número de escudos presentes en la fruta ($F=17.11$; g.l.= 4, 35; $P<0.0001$) (Figura 4A) y al porcentaje de frutos infestados con más de 10 escudos ($F= 21.52$; g.l.= 4, 35; $P<0.0001$) (Figura 4B). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con aplicación de insecticidas, es decir, entre boquillas, en ninguno de los muestreos realizados. Sin embargo, estos se diferenciaron del Control en el segundo y tercer muestreo (test de Dunnett, $P<0.05$). Estas diferencias incrementaron con el tiempo, lo que indica una rápida infestación por CRS en los frutos del Control.

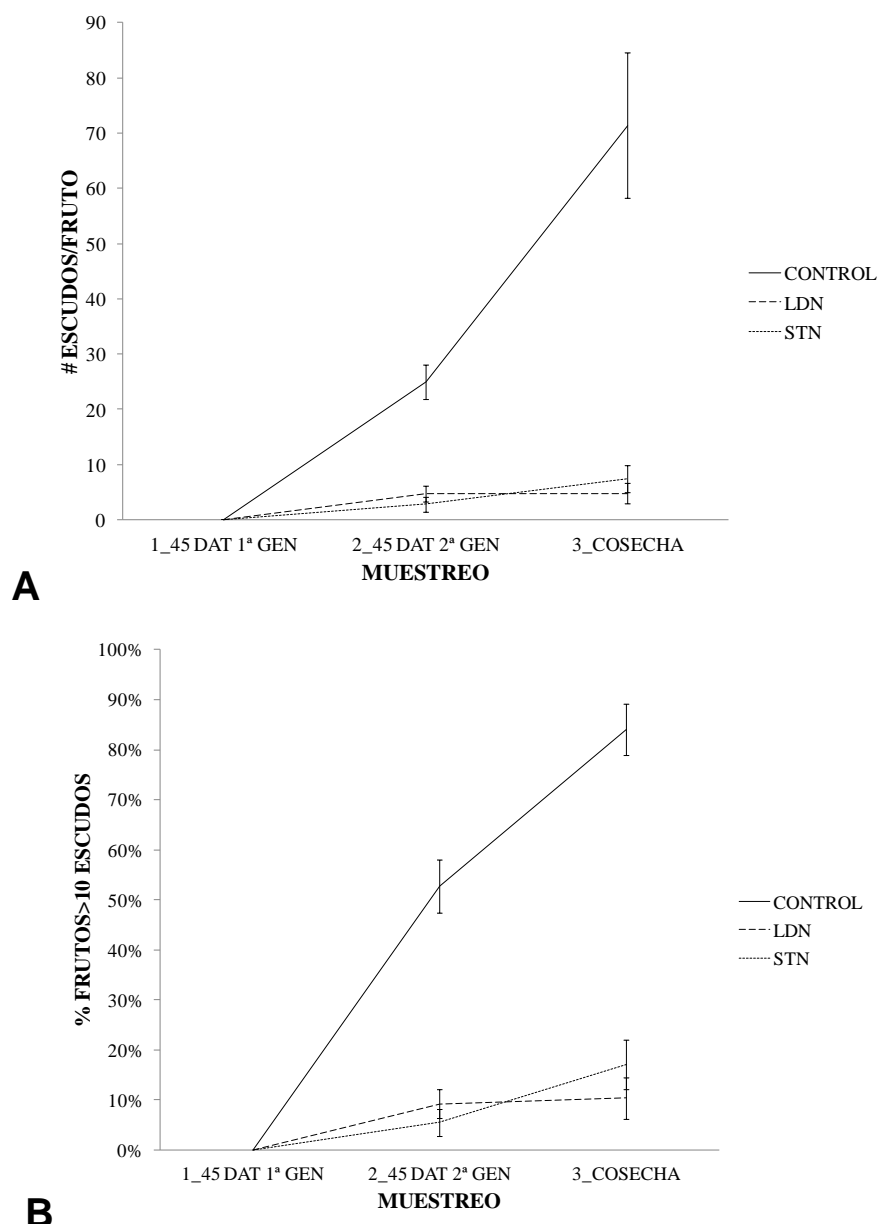


Figura 4. Número de escudos/fruto (*media*±*ES*) (A) y porcentaje de frutos con más de 10 escudos (*media*±*ES*) (B) para los tratamientos Control, LDN (Albuz TVI 8002 Amarilla) y STN (TeeJet D6DC23 Verde) en cada muestreo.

En el momento de cosecha, la distribución de la plaga en la copa era similar entre los tratamientos con aplicación de insecticidas pero estos se diferenciaron significativamente del Control ($F= 4.11$; g.l.= 8, 119; $P= 0.0003$) (Figura 5A). Comparando la distribución de CRS en altura, se observó que en la parte baja de la copa la infestación era menor, para todos los tratamientos. La diferencia entre alturas no resultó significativa para el Control ($P = 0.2789$), sin embargo sí que fue significativa tanto para el tratamiento con STN ($P = 0.0056$), como con LDN ($P = 0.0088$), lo que coincide con los resultados de McArtney y Obermiller (2008), y que se puede deber a una mayor deposición en la parte baja de la copa, como demostraron Horst *et al.* (2002) al medir la deposición en la copa de árboles densos tratados con boquillas de inducción de aire. El Control mostró la mayor infestación en la cara sur de los árboles, seguido de las caras entre árboles de una misma fila (Este y Oeste), con una infestación muy

similar a la estimada en el interior de la copa. Por el contrario, los tratamientos con STN-TeeJet D6DC23 Verde y LDN-Albuz TVI 8002 Amarilla igualaron la infestación en las diferentes localizaciones.

Los tratamientos con aplicación de insecticidas alcanzaron una reducción media de la infestación del 90% con la STN y del 93% con la LDN, con la mayor reducción en las caras externas de los árboles (entre filas), que miran al pulverizador (Norte y Sur) (reducción media del 97%) (Figura 5B). En el interior de la copa la reducción fue del 88% y en las caras entre árboles del 90%. La parte baja de la copa alcanzó mayores reducciones de infestación que la parte alta con ambas boquillas (90% en la parte alta vs 95% en la parte baja).

Estos resultados coinciden con los de otros autores, que tampoco encontraron diferencias significativas de control en manzanos de diversas plagas (ácaro rojo *Panonychus ulmi* Koch) y enfermedades (sarna *Venturia Inaequalis*, mildiu *Podosphaera leucotricha*) entre boquillas de baja deriva y convencionales (Heinkel *et al.*, 2000; Cross *et al.*, 2002; Knewitz *et al.*, 2002). Sin embargo, otros autores sí que encontraron diferencias de control en manzanos contra algunas plagas (minador de las hojas *L. malifoliella* Zell., pulgón verde *Aphis pomi* de Geer, ácaro rojo *Panonychus ulmi* Koch, polilla del manzano *Cydia pomonella* L., etc) y enfermedades fúngicas (*Peltaster fructicola*, *Gaestrumia polystigmatis*, *Leptodontium elatius*, etc), consiguiendo las boquillas convencionales siempre mejor control (McArtney y Obermiller, 2008; Lešnik, 2005). Esta discordancia puede deberse a las diferencias en la movilidad de las plagas evaluadas, la densidad de los árboles, el modo de acción del producto, los volúmenes de caldo, al espectro dimensional de las gotas de la boquilla, condiciones meteorológicas, etc.

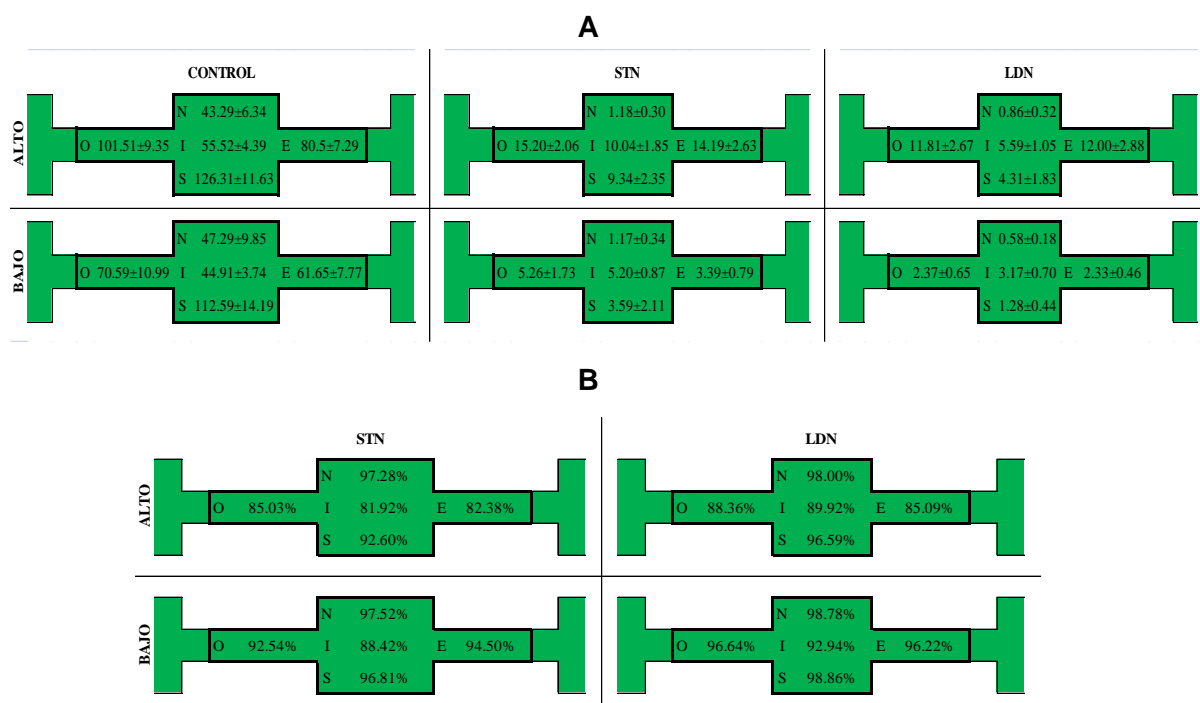


Figura 5. Vista en sección transversal de la distribución de la plaga (número medio de escudos/fruto±ES) (A) y reducción (%) del número medio de escudos/fruto (B) en dos alturas de la copa (Alto y Bajo) para los tratamientos Control, STN (TeeJet D6DC23 Verde) y LDN (Albuz TVI 8002 Amarilla) en el momento de cosecha. N: Norte, S: Sur, E: Este, O: Oeste, I: Interior

Conclusiones

Este trabajo concluye que en las condiciones de aplicación del ensayo las boquillas de baja deriva de inyección de aire resultaron una solución adecuada para reducir la deriva manteniendo la eficacia de contra el piojo rojo de California en cítricos.

Agradecimientos

Esta investigación estuvo financiada por Dow AgroSciences Ibérica S.A. (proyecto 'Say no to drift'). Los autores quieren agradecer al Grupo Martinavarro S.L. por permitir el uso de sus fincas y equipos.

Bibliografía

- Chueca, P., Garcerá, C., Masip, P., Moltó, E., 2013. Methodology for a fast, in field estimation of the efficiency of antidrift measures. 12th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing (SuproFruit 2013), June 26-28, 2013, Valencia, Spain, 11-13.
- Cross, J.V., Murray, R.A., Walklate, P.J., Richardson, G.M., 2002. Efficacy of drift-reducing orchard spraying methods. *Aspects of Applied Biology* 66, 285-292.
- Fox, R.D., Reichard, D.L., Brazee, R.L., 1985. A model study of the effect of wind on air sprayer jets. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 28, 83-88.
- Frießleben, R., 2004. Balancing drift management with biological performance and efficacy. *Proceedings of the International Conference on Pesticide Application for Drift Management*, October 27-29, 2004, Waikoloa, Hawaii, 72-79.
- Guler, H., Zhu, H., Ozkan, H.E., Derksen, R.C., Yu, Y., Krause, C.R., 2006. Spray characteristics and wind tunnel evaluation of drift reduction potential with air induction and conventional flat fan nozzle. *Amer. Soc. Agr. Biol. Eng., Annu. Intl. Mtg., Paper No. 06111. (Abstr.)*
- Heinkel, R., Fried, A., Lange, E., 2000. The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. *Aspect. Appl. Biol.* 57, 301-307.
- Horst, K., Koch, H., Fleischer, G., Lehn, F., 2002. Effects of coarse and fine droplet application on pesticide deposition in orchards. *Gesunde Pflanzen* 54(5), 141-145.
- Knewitz, H., Weisser, P., Koch, H., 2002. Drift-reducing spray application in orchards and biological efficacy of pesticides. *Aspects of Applied Biology* 66, 231-236.
- Lešnik, M., Pintar, C., Lobnik, A., Kolar, M., 2005. Comparison of the effectiveness of standard and drift-reducing nozzles for control of some pests of apple. *Crop Prot.* 24, 93-100.
- McArtney, S.J., Obermiller, J.D., 2008. Comparative performance of air-induction and conventional nozzles on an axial fan sprayer in medium density apple orchards. *HortTechnology* 18, 365-371.
- Meli, S.M., Renda, A., Nicelli, M., Capri, E., 2003. Studies on pesticide spray drift in a Mediterranean citrus area. *Agronomie* vol. 23 pp: 667-672.
- Planas, S., Solanelles, S., Torrent, X., Camp, F., Gregorio, E., Rosell, J.R., 2013. Comparing standardized methods of potential drift assessment. *Suprofruit 2013. Valencia.*
- Salyani, M., Miller, D.R., Farooq, M., Sweeb, R.D., 2013. Effects of sprayer operating parameters on airborne drift from citrus air-carrier sprayers. *Agric Eng Int.* 15(1), 27-36. www.cigrjournal.org.
- Van de Zande, J.C., Wenneker, M., Michielsen, J.M.G.P., Stallinga, H., van Velde, P., Joosten, N., 2012. Nozzle classification for drift reduction in orchard spraying. *Aspect. Appl. Biol.* 114, 253-260.

M09 - Comportamiento de un vibrador de troncos orbital sobre un poste de acero empotrado en zapata de hormigón.

Castillo-Ruiz, F.J.¹, Blanco-Roldán, G.L.¹, Jiménez-Jiménez, F.¹, Colmenero-Martínez, J.T.¹, Castro-García, S.¹, Sola-Guirado, R.R.¹, Gil-Ribes, J.A.¹

¹ Universidad de Córdoba, G.I. AGR 126 "Mecanización y Tecnología Rural/CEMTRÓ", Dpto. de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agronómica y de Montes. Córdoba 14005: fcocastillo.agro@gmail.com

Resumen

El comportamiento de los vibradores de troncos empleados para recoger frutos depende de su aceleración, frecuencia y desplazamiento durante la vibración. Para comparar las características de distintas máquinas, se requiere vibrar un cuerpo con propiedades físicas conocidas y constantes a lo largo del tiempo, ya que el árbol sufre cambios, debido a su estado fenológico y a las condiciones ambientales. Se ha utilizado un vibrador de troncos orbital acoplado a un tractor vibrando un poste de acero, empotrado en zapata de hormigón. Se han empleado dos acelerómetros triaxiales, uno se ha unido a la pinza del vibrador y otro se ha colocado en el poste, vibrando a tres alturas. La medida de las aceleraciones y desplazamientos en la pinza y en el poste indica que tanto las aceleraciones registradas como los movimientos son mayores cuando el poste se vibra a mayor altura. El resbalamiento de la pinza sobre el poste, que es uno de los factores que condicionan el descortezado, es diferente en función de la altura de agarre. Se obtienen menores desplazamientos cuando se agarra en la parte superior del poste. Todo esto indica que el agarre del poste en la parte superior opone menor resistencia a la vibración que el agarre en la parte inferior, aunque un mismo vibrador proporciona mayores frecuencias en el agarre inferior con respecto al agarre superior, debido a la falta de acoplamiento poste-pinza. Esto hace que la energía necesaria para la vibración del conjunto sea menor en el agarre bajo, registrándose menores desplazamientos y aceleraciones. En el poste ensayado se han obtenido comportamientos similares a los registrados en la vibración de olivar tradicional.

Palabras clave: Aceleración, desplazamiento, frecuencia, descortezado, recolección de frutos.

Orbital trunk shaker performance on shaking steel pole with a concrete embedded plinth

Abstract

Trunk shaker performance for hanging fruits detachment depends on provided acceleration, frequency and displacement during the vibration process. To compare different trunk shaker performances, it is necessary to shake a known object that keeps constant its physical properties, considering that trees show changes depending on their phenological stage and external climate conditions. An orbital trunk shaker tractor hitched was employed to vibrate a shaking steel pole with a concrete embedded plinth. Two triaxial accelerometers were used, one was located at the shaking head, and the other was fixed to the steel pole. The pole was grabbed at three heights. Results showed higher accelerations and displacements when the grabbing height was increased, both in the shaking head and in the pole. Shaking head slip, which is one of the factors that trigger bark peel off, varied with the grabbing height. The lower shaking head slip was provided at maximum grabbing height. Overall, higher grabbing locations resist less against vibration than lower grabbing locations, although the same trunk shaker generated higher frequencies grabbing at the bottom of the pole than at the top due to the lack of coupling between the pole and the shaking head. This effect meant more power requirements to shake the post at the bottom grabbing location. In this configuration, the pole also provided less accelerations and displacements. Tested pole showed similar results as a traditional olive tree.

Keywords: Acceleration, displacement, frequency, bark peel off, fruit harvesting. Introducción y/o Justificación.

Introducción y/o Justificación

El vibrador de troncos es un sistema empleado de forma generalizada en agricultura para recoger frutos con destino a industria. Estas máquinas generan una vibración que puede ser orbital o multidireccional. Esta vibración supone consumos de potencia muy elevados con respecto al resto de operaciones culturales que suelen realizarse en las plantaciones arbóreas (Porrás, 1987), lo que hace que la falta de potencia para vibrar el árbol haya limitado la eficiencia de la recolección en el pasado, ocurriendo, aún, en muchos casos.

El inicio del desarrollo de los vibradores comenzó con la modelización de las ramas de los árboles simulando vigas en ménsula que debían vibrarse con el objetivo de provocar fenómenos inerciales que superasen la fuerza de retención del fruto, pudiendo alcanzarse este objetivo mediante la aplicación de una vibración a la frecuencia natural de la rama en el punto de empotramiento (Fridley y Adrian, 1960). Sin embargo, la excitación del sistema a su frecuencia natural generaría daños de gran importancia, por lo que es conveniente vibrar el árbol a frecuencias ligeramente inferiores. Además, durante el proceso de vibración del árbol intervienen numerosos factores que dificultan el modelado del comportamiento del árbol, como la influencia de la rigidez del árbol, o el amortiguamiento viscoso (Lenker y Hedden, 1968). La formación y las características del árbol, también influyen en la respuesta a la vibración, y en los valores de frecuencia natural de la estructura (Castro-García *et al.*, 2008)

Por otro lado, el empleo del vibrador de troncos en ocasiones genera importantes problemas de descortezado. Por este motivo, algunos agricultores rechazan su uso, especialmente en épocas en las que el árbol es más propenso al descortezado. Algunos autores han indicado que el descortezado está causado por negligencias o errores en el uso del vibrador o una alta actividad en el cambium del tronco en el momento de la recolección (Fridley *et al.*, 1970). El descortezado también está provocado en ocasiones por la aplicación de una potencia de vibración excesiva con la intención de derribar frutos inmaduros (Cargill *et al.*, 1982).

La respuesta del vibrador trabajando en árboles muestra una gran variabilidad de los resultados, mientras que cuando el vibrador de troncos se ensaya en un poste, los resultados son mucho más homogéneos, permitiendo el ensayo y caracterización de las máquinas (Ortiz-Cañavate *et al.*, 1980). La caracterización de los parámetros biométricos de los árboles es de gran importancia para permitir un diseño adecuado de un poste de ensayo (Chico-Gaytan *et al.*, 1999).

El objetivo del presente estudio es determinar el comportamiento de un vibrador de troncos usando materiales de agarre plásticos diferente capacidad de deformación y elásticos con diferente dureza en un poste empotrado en zapata de hormigón con respecto a las aceleraciones y desplazamientos registrados.

Material y Métodos

Se empleó un vibrador de troncos orbital VBFHG, Noli (Fernán Nuñez, España) accionado por un tractor de doble tracción 6420, John Deere (Moline, IL., EE. UU.), que proporciona 78,8 kW de potencia a la toma de fuerza, según el ensayo OCDE, a 2100 rpm. El enganche del vibrador se realiza mediante una placa frontal acoplada al chasis del tractor. Se ha vibrado un poste de acero estructural S 275 de 275 mm de diámetro y

5 mm de espesor, empotrado en una zapata de hormigón cilíndrica de 1,5 m de diámetro y 1 m de alto.



Figura 16. Vibrador Noli en posición de trabajo en el poste de acero con los acelerómetros triaxiales instalados sobre el poste y sobre la pinza.

Se han ensayado dos tipos de materiales de agarre, uno es un material elástico convencional fabricado con goma vulcanizada y otro, un material plástico diseñado por el G.I. AGR 126 de la Universidad de Córdoba. Este material consta de una cubierta fabricada con material textil, y un relleno a base de HDPE granulado sin compactar, que le confiere una capacidad de deformación plástica ante la presión de apriete, adaptándose al tronco de los árboles. El material elástico se ha usado en dos versiones:

- Material elástico duro (70 ShA).
- Material elástico blando (55 ShA).

El material plástico se ha usado en tres versiones diferentes atendiendo al porcentaje de relleno del mismo, con lo que se esperan conseguir diferencias en la capacidad de deformación del mismo:

- Material plástico con un relleno del 80 % de su volumen sin compactar..
- Material plástico con un relleno del 90 % de su volumen sin compactar.
- Material plástico con un relleno del 100 % de su volumen sin compactar.

Ambos materiales se han ensayado con una presión de apriete de 125 bar en el cilindro de cierre de la pinza, empleando un sistema de fijación a la estructura de la pinza formado por una lona de caucho atornillada a la cara superior e inferior de la pinza que rodea al taco.

La medida de la aceleración se realiza con un equipo analizador de señales dinámicas (OROS, 25 PC-pack II) para el registro y el análisis de señales y 2 acelerómetros piezoeléctricos triaxiales (PCB, 356A02), uno conectado al poste de acero a la altura a la que se realiza el agarre, y el otro unido a la pinza vibradora. Se ha determinado el valor RMS de la aceleración resultante y la frecuencia de la vibración mediante el procesamiento de las señales, y los desplazamientos de la pinza y el tronco se han obtenido mediante la integración de la señal obtenida. La medida de la potencia hidráulica se ha obtenido del caudal de aceite a la entrada del motor hidráulico medida mediante un caudalímetro (Flo-tech, FSC-1000) y con un sensor de presión (Parker, SCPT-600-0-02).

$$Transmisión (\%) = \frac{a_{poste}}{a_{pinza}} 100 \quad (1)$$

La transmisión de la aceleración se ha calculado según se indica en la Ecuación (1), siendo a_{poste} la aceleración eficaz registrada en el poste de vibración, y a_{pinza} la aceleración eficaz registrada en la pinza del vibrador.

La superficie de contacto entre el material de agarre y el poste se ha medido mediante la adición de polvo de talco al material de agarre del vibrador, que ha dejado una huella visible sobre una tira de papel colocada alrededor del poste. Posteriormente, este papel ha sido fotografiado en un fondo escalado, y el área de contacto se ha medido escalando la imagen y segmentando las áreas de contacto (Figura 17) usando la técnica de análisis de imágenes mediante el programa ImageJ (software libre).

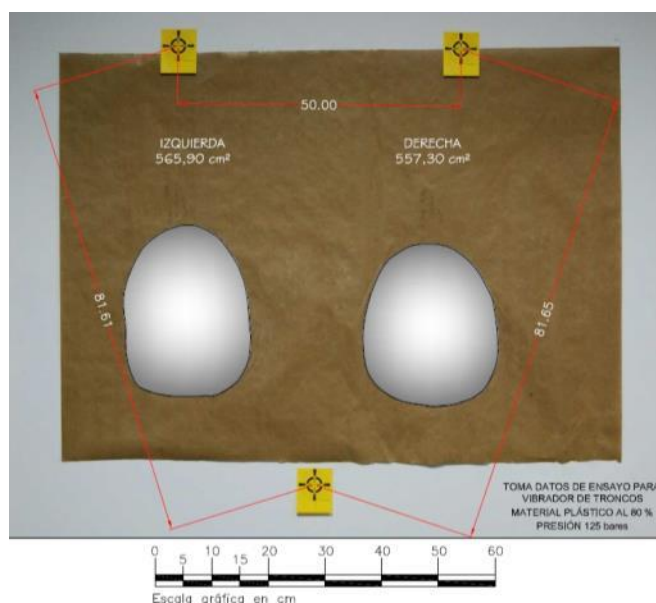


Figura 17. Escalado y segmentado de la imagen tomada del área de contacto del vibrador.

Resultados y Discusión

Los resultados muestran un comportamiento homogéneo del poste frente a la vibración, sin embargo, la rigidez del mismo es muy elevada, lo que hace que el vibrador tenga un comportamiento anómalo dependiendo de la potencia de vibración empleada y del punto de agarre del poste. En primer lugar hay que destacar que el poste es una viga en ménsula empotrada en una losa de hormigón (Figura 16). Por este motivo, la rigidez de la estructura es muy elevada, y por ende, la potencia necesaria para la vibración. A este

hecho hay que sumar la mayor dificultad que presenta obtener un desplazamiento en el acero que en la madera. Esto se debe a las diferencias en el módulo de elasticidad transversal del acero (73 GPa) y el módulo de elasticidad transversal de algunos tipos de madera, que oscila entre 8 y 18 GPa (Ricardo y Baettig, 2001).

El poste presenta una alta resistencia cuando el vibrador lo agarra cerca del punto de empotramiento, mientras que la resistencia a la vibración sería menor cuando el poste se agarra a una altura superior. Este efecto queda reflejado en el aumento progresivo de la presión a la entrada del motor hidráulico que acciona la masa excéntrica. La potencia no muestra una tendencia tan clara, ya que las revoluciones del tractor durante la vibración también influyen en la potencia proporcionada a través de la toma de fuerza. Por otro lado, el caudal está directamente correlacionado con la frecuencia de la vibración ($r = 0,93$; $p < 0,000$) (Tabla 5). Sin embargo, si se analiza exclusivamente la frecuencia en el vibrador, aparentemente la resistencia del poste en el agarre superior es mayor, ya que la frecuencia es más baja, esto se debe a la existencia de resbalamientos en la pinza cuando se realiza un agarre a baja altura.

Tabla 5. *Parámetros de funcionamiento del tractor y del sistema hidráulico durante la aplicación de la vibración.*

Altura de agarre (m)	Revoluciones del tractor durante la vibración (rpm)	Frecuencia (Hz)	Presión en el sistema hidráulico (bar)	Caudal (l min^{-1})	Potencia hidráulica (kW)
0,7	1615	$19,8 \pm 1,3$	$153,5 \pm 35,2$	$145,7 \pm 11,2$	$37,7 \pm 10,4$
1,4	1650	$19,5 \pm 1,3$	$158,2 \pm 36,5$	$144,5 \pm 11,2$	$38,7 \pm 10,9$
2,1	1700	$18,7 \pm 1,3$	$163,3 \pm 33,3$	$139,9 \pm 8,1$	$31,8 \pm 17,7$

El aumento de resistencia del poste también se manifiesta en una mayor aceleración en el poste, sin embargo, la aceleración en el vibrador varía, pero estas diferencias no resultan significativas. También existen diferencias significativas en transmisión de la aceleración desde el vibrador al tronco, y también hay diferencias significativas en los desplazamientos medios del poste. Sin embargo, los desplazamientos del vibrador no proporcionan diferencias significativas (Tabla 6). Estos resultados muestran que el agarre y la transmisión de la vibración son mejores en el punto más alto que en las zonas más cercanas al empotramiento. El mejor agarre y acoplamiento del movimiento entre el vibrador y la masa pasiva del poste no se debe a la presión de apriete de la pinza, que es la misma, sino a la menor resistencia que presenta el poste en el agarre a mayor altura, que queda reflejada en la menor demanda de potencia en el sistema hidráulico (Tabla 5).

Tabla 6. Parámetros de la vibración en el vibrador y en el poste, incluyendo la transmisión desde el vibrador al poste. La significación entre alturas de agarre en el poste se ha calculado aplicando ANOVA de un factor. NS = no significativo; * = significativo ($p < 0,05$)

Altura de agarre (m)	Aceleración vibrador (m s^{-2})	Aceleración poste (m s^{-2})	Transmisión (%)	Desplazamiento vibrador (mm)	Desplazamiento poste (mm)
0,7	109 \pm 41	52 \pm 29	46 \pm 13	7,6 \pm 2,7	3,4 \pm 2,0
1,4	119 \pm 32	57 \pm 10	49 \pm 8	7,8 \pm 1,4	3,8 \pm 0,4
2,1	134 \pm 28	94 \pm 17	71 \pm 5	9,6 \pm 1,4	6,8 \pm 0,7
Sig.	NS	*	*	NS	*

La deficiente transmisión que se observa en el vibrador y las diferencias en aceleración y desplazamientos descritas entre la pinza y el poste son, en gran medida, consecuencia del deslizamiento de la pinza en el sentido de entrada del vibrador. Sin embargo, el movimiento en el sentido transversal al agarre muestra una menor variación entre la pinza y el poste de vibración (Figura 18). En esta figura se aprecia un achatamiento de las dos órbitas de vibración en dos sentidos diferentes, mientras que el vibrador se mueve más en el sentido de entrada de la pinza, el poste se mueve más en el sentido transversal al agarre. Esto se debe al deslizamiento de la pinza en el sentido de entrada de la pinza, mientras que las diferencias en los movimientos transversales se deben a la deformación del material de agarre.

Además de los deslizamientos lineales, pueden producirse movimientos de torsión en torno al eje del poste especialmente si el vibrador no está dimensionado para proporcionar una potencia de vibración suficiente. Tanto los movimientos lineales como los torsores se magnifican durante los transitorios de arranque y de parada del vibrador, momentos en los que la inercia del sistema hace que la resistencia que opone a la vibración sea superior.

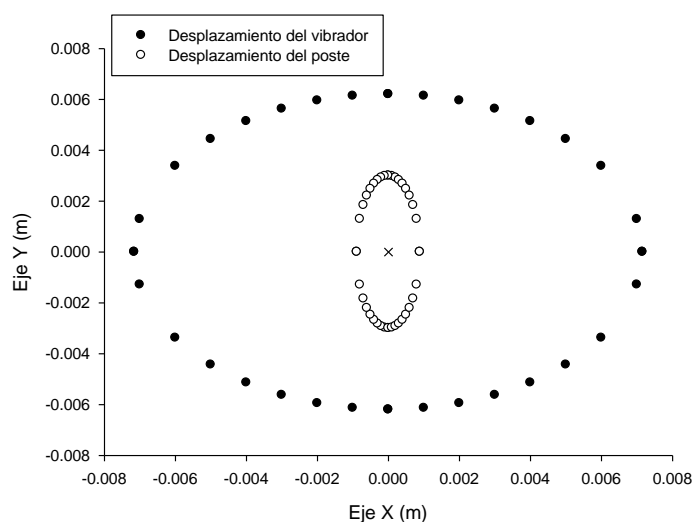


Figura 18. Desplazamientos del vibrador y del poste, calculando la órbita media descrita para los ensayos. Se ha marcado el punto de reposo de ambos cuerpos. El eje X marca el sentido de entrada del vibrador, mientras que el eje Y marca el sentido transversal al sistema de agarre.

Los desplazamientos diferenciales entre el tronco y el poste podrían generar daños por descortezado en el caso de producirse en el árbol, aunque algunos autores señalan que debido a la deformación del material de agarre, pequeños desplazamientos diferenciales entre la pinza y el tronco son necesarios para evitar el descortezado (Leone *et al.*,

2015). Sin embargo otros autores indican que el diseño de la pinza determina el descortezado del tronco (Polat *et al.*, 2007). En este ensayo se demuestra que en caso de que el vibrador se encuentre con resistencias elevadas, los deslizamientos entre la pinza y el tronco pueden llegar a ser muy elevados, por lo tanto, sólo queda por determinar los esfuerzos que es capaz de soportar la corteza de los árboles sin desprenderse, y si esa resistencia varía con el riego o con el estado fisiológico del árbol.

El uso de materiales de agarre elásticos con diferente dureza, y plásticos con diferente nivel de relleno, ha mostrado un mejor comportamiento de los materiales elásticos en la transmisión de la vibración al poste (Tabla 7). Este efecto puede deberse a que los materiales elásticos dependen de la fuerza aplicada y la constante de deformación del material para establecer una adecuada superficie de contacto entre el material de agarre y el poste. Por el contrario, la superficie de contacto establecida por los materiales plásticos, depende del volumen del objeto a agarrar, y de la capacidad de deformación del material plástico empleado. En este sentido se midieron las superficies de contacto y los resultados obtenidos oscilaron entre 1000 y 1200 cm² para el material elástico relleno al 80 %, entre 600 y 1000 cm² para el material elástico blando y para los materiales plásticos al 90 y 80 % de relleno, y valores entre 400 y 600 cm² para el material elástico duro.

Tabla 7. Tasas de transmisión de la vibración del vibrador al poste de ensayo en función del material empleado. El eje X marca el sentido de entrada del vibrador, mientras que el eje Y marca el sentido transversal al sistema de agarre.

Material	Transmisión global (%)	Transmisión eje X (%)	Transmisión eje Y (%)
Elástico blando	33,2 ± 7,8	10,0 ± 1,2	37,8 ± 9,4
Elástico duro	37,7 ± 7,2	13,6 ± 2,6	42,5 ± 9,3
Plástico 100 %	62,5 ± 5,5	29,5 ± 6,1	86,2 ± 10,1
Plástico 90%	63,7 ± 5,0	31,1 ± 6,0	90,6 ± 12,2
Plástico 80 %	65,8 ± 4,1	33,2 ± 6,1	90,2 ± 7,9

La mayor constante de deformación elástica de los materiales plásticos hace más difícil la pérdida de energía de vibración por desplazamientos diferenciales entre el vibrador y el poste. Esto ocurre cuando el volumen desalojado por el objeto a agarrar es suficientemente grande como para que el material de agarre plástico tenga un comportamiento rígido e impida los desplazamientos diferenciales entre la pinza y el poste, por lo tanto, el nivel de relleno del material plástico debería adecuarse al diámetro de tronco a vibrar en cada parcela.

Conclusiones

Es posible ensayar un vibrador de troncos en un poste de acero empotrado en zapata de hormigón, con el objetivo de determinar sus parámetros de funcionamiento con una menor dispersión de los resultados a la que suele obtenerse en parcelas de olivar. Sin embargo, es necesario mejorar el diseño del poste para reducir la resistencia que ofrece a la vibración, especialmente aumentando los reducidos desplazamientos que admite el acero, para adecuarlos a los desplazamientos soportados por la madera.

A mayor altura de agarre desde el punto de empotramiento, el poste opone menor resistencia, sin embargo, la frecuencia de vibración alcanzada es menor, ya que se generan deslizamientos entre la pinza y el poste. Estos deslizamientos, además de disipar energía vibratoria en el sistema de agarre, son un peligro potencial para aumentar la incidencia del descortezado en el uso de los vibradores de troncos.

Por último, el empleo de materiales de agarre plásticos mejora la transmisión de la vibración desde el vibrador al poste con respecto a los materiales elásticos, al ofrecer mayor superficie de contacto entre el material y el objeto a agarrar. Sin embargo, al igual que los materiales elásticos la deformación de los mismos depende de su dureza, en el caso de los materiales de agarre plásticos, la deformación depende de la capacidad de deformación del material, y del volumen desalojado por el objeto que se vaya a vibrar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CPP “MECAOLIVAR” por parte del Ministerio de Economía y Competitividad cofinanciado por fondos FEDER. También agradecen el apoyo de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español para el desarrollo de la investigación. Así como la concesión de una beca FPU por parte del ministerio de Educación, Cultura y Deporte al primer autor.

Bibliografía

- Cargill, B.F., Brown, G.K., Bukovac, M.J., 1982. Factors affecting bark damage to cherry trees by harvesting machines. Michigan State Univ. Coop. Ext. Serv. Agr. Eng. Info. Ser. 471.
- Castro-Garcia, S., Blanco-Roldán, G.L., Gil-Ribes, J.A., Agüera-Vega, J., 2008. Dynamic analysis of olive trees in intensive orchards under forced vibration. Trees Struct. Funct. 22, 795-802.
- Chico-Gaytan, J.C., López-Jiménez, F.J., Gil-Amores, M.A., 1999. Estudio biométrico para determinar el centro de gravedad y la distribución de masa en olivos. Agricultura. 68, 930-932.
- Fridley, R.B., Adrian, P.A., 1960. Some aspects of vibratory fruit harvesting. Agr. Eng. J. 41, 28-31.
- Fridley, R.B., Brown, G.K., Adrian, P.A., 1970. Strength characteristics of fruit tree bark. Hilgardia. 40, 205-223.
- Lenker, D.H., Hedden, S.L., 1968. Limb properties of citrus as criteria for tree shaker design. Transactions of the ASAE. 11, 129-135.
- Leone, A., Romaniello, R., Tamborrino, A., Catalano, P., Peri, G., 2015. Identification of vibration frequency, acceleration and duration for efficient olive harvesting using a trunk shaker. T. ASABE. 58, 1-8.
- Ortiz-Cañavate, J., Gil, J., Juste, F.J. 1980. Design and testing of a tree shaker. ASAE paper. 80-1045.
- Polat, R., Gezer, I., Guner, M., Dursun, E., Erdogan, D., Bilim, H.C., 2007. Mechanical harvesting of pistachio nuts. J. Food. Eng. 79, 1131-1135.
- Porras, A., 1987. Las máquinas para la recolección de la aceituna. Principios y características. Consejería de agricultura y pesca, junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Ricardo, M., Baettig, P., 2001. Determinación del módulo de elasticidad de la madera mediante vibraciones transversales. Maderas. Ciencia y tecnología. 3, 44-51.

M10 - Hacia la integración de los sistemas sacudidores de copa en olivar tradicional.

Gil-Ribes, J.A.¹, Sola-Guirado, R.R.¹, Castillo-Ruiz, F.J.¹, Jiménez-Jiménez, F.¹, Castro-García, S.¹, Blanco-Roldán, G.L.¹

¹ Universidad de Córdoba, G.I. Mecanización y Tecnología Rural/CEMTRIO, Dpto. de Ingeniería Rural. Córdoba 14005, gilribes@uco.es

Resumen

El desarrollo tecnológico llevado a cabo en plantaciones de olivar tradicionales ha sido escaso en los últimos años. En algunos casos como España, el olivar tradicional representa más del 70% de la superficie de olivar y el coste de recolección supone más del 40 % de los costes totales de cultivo. El uso de sacudidores de copa laterales podría suponer una alternativa para reducir estos costes mediante una recolección integral del árbol. Se ha diseñado un dispositivo de derribo basado en la sacudida de copa para la recolección de olivos tradicionales de varios pies de las variedades Picual y Hojiblanca y se han ensayado tres trayectorias de trabajo diferentes: Dos pases y cuatro pases lineales y dos pases en zig-zag. Los árboles ensayados estaban conformados con tres sistemas distintos de poda: tradicional, adaptada a los sacudidores de copa, y testigo. Se ha estudiado el porcentaje de derribo y daños al árbol en función de las trayectorias efectuadas y de los tratamientos de poda realizados. Los resultados muestran diferencias significativas respecto a los porcentajes de derribo entre las distintas trayectorias, debido en gran parte a que la trayectoria en zig-zag y establece un mayor contacto con la copa, aunque, los daños realizados por esta trayectoria fueron muy superiores. En caso de realizar una trayectoria lineal es necesario realizar 4 pases cruzados para contactar con la mayor superficie de copa posible. En cuanto a la influencia de la poda no han mostrado diferencias significativas, mostrando la necesidad de mayor tiempo para ver la influencia de la formación del árbol. Sin embargo, mayores densidades de follaje en el exterior y la disminución de la producción de fruto interior en el árbol muestran mejores porcentajes de derribo en la cosecha con el sacudidor.

Palabras clave: Vibración, eficiencia de derribo, *Olea europaea*, trayectoria, poda.

Toward the integration of canopy shaker harvesters on traditional olive orchard

Abstract

Traditional olive orchards have a lack of technological development in the last years. In some countries as Spain, traditional olive groves represent around 70% of the total planted area where harvesting costs is more than 40 % of total growing costs. Lateral canopy shakers could be an alternative to reduce this cost by means of an integral harvesting. Canopy shaker detachment device was developed and built for harvesting of traditional olive trees of the Picual and Hojiblanca varieties using three different paths: Two and four lineal wipes along tree sides, and two zig-zag wipes. Harvesting efficiency and debris on tree branches were considered. Tested trees had three treatments of pruning: unpruned trees, adapted on canopy shaker ones, and traditional ones. Results showed significant differences in harvesting efficiency values between different harvester paths due to zig-zag path establish higher contact between the shaking rods and the canopy. However, zig-zag debris was highly larger. Four crossed linear wipes showed better performance than only two lineal wipes. The pruning influence does not show significant influence, indicating that longer time is needed. However, more exterior foliage density and less inside production on tree seem better for enhancing detachment efficiency.

Keywords: Vibration, detachment efficiency, *Olea europaea*, path, pruning.

Introducción y/o Justificación

La fabricación de aceites y grasas en España supone un 5,3 % del total de las empresas agroalimentarias, con una facturación anual de 8.942 millones de € (CEICE, 2012). En España, más del 74% de las plantaciones de olivar presentan una estructura tradicional

con bajas densidad de plantación (30-180 árboles ha⁻¹), bajo nivel de producción por hectárea (1.1-4.5 t ha⁻¹), con árboles de grandes copas que pueden llegar a tener diámetros superiores a 8 m. Además la estructura típica del olivar tradicional en Andalucía se constituye de árboles formados por varios pies. Debido a esta estructura, orientada a la recolección manual del cultivo, que no fue diseñada para los sistemas de mecanización actuales, los costes de estas plantaciones son muy altos, no siendo competitivas con respecto a otras tipologías de olivar emergentes adaptadas a diversas tareas de mecanización.

En estos olivares la recolección representara más del 40% de los costes de producción (AEMO, 2012), y es la tarea que presenta mayor dificultad debido a las complejas estructuras y geometrías que presentan los árboles de las plantaciones tradicionales. Para realizar su recolección existen varios métodos (Sola-Guirado *et al.*, 2014), con gran peso de los métodos de recolección manuales, debido al pequeño tamaño de muchas explotaciones. En los últimos años, los sistemas de recolección mecanizada basados en la vibración de troncos han sido estudiados y desarrollados. Sin embargo, su principal factor limitante es su baja capacidad de trabajo, que requiere un derribo inicial por vibración de cada tronco del árbol, una recogida posterior del sistema de interceptación basado en lonas y una descarga posterior a un sistema de transporte hasta el lugar de molienda (Gil-Ribes *et al.*, 2008).

Recientemente, máquinas cabalgantes basadas en la recolección de viña en espaldera han sido introducidas para la recolección de olivar (Ferguson 2006), previa adaptación del cultivo a la formación de un seto de dimensiones limitadas. Estas máquinas cambian el concepto habitual de recolección con vibradores de troncos, al aplicar un vareo mecánico sobre las ramas fructíferas del árbol. Los sistemas sacudidores de copa plantean un derribo con varios sistemas de varas que penetran en la copa y realizan un movimiento de baja frecuencia y gran amplitud en un ciclo de recolección en continuo con la máquina avanzando a una determinada velocidad. En el mismo sentido, y para solventar las limitaciones relativas a la forma y tamaño del árbol, han surgido grandes cosechadoras cabalgantes para olivar intensivo basadas en la sacudida de copa y que también realizan el derribo, interceptación y manejo del fruto de forma simultánea (Freixa, 2009). Pero estos sistemas no son aplicables al olivar tradicional, ni siquiera al intensivo en numerosas ocasiones. No obstante, el G.I. AGR 126 viene trabajando desde 2010 en la aplicación de sistemas de recolección integrales en olivar tradicional basados en la sacudida de copa y ha desarrollado varios prototipos al respecto.

Desarrollos previos han sido fruto de la interacción entre fabricantes de maquinaria y agricultores, sin que los técnicos ni los investigadores en esta materia hayan jugado un papel determinante en este proceso. Por este motivo, partiendo de la base de que cualquier sistema mecanizado requiere una previa adaptación del cultivo a la máquina, y una adaptación posterior de la máquina al cultivo, para avanzar en el desarrollo de los sistemas sacudidores de copa, es necesario realizar un desarrollo paralelo del sistema de formación de los árboles con el objetivo de mejorar la eficiencia de derribo y minimizar los daños. Además, la adaptación de la máquina al árbol puede ser efectuada mediante el estudio de las mejores trayectorias que se puedan efectuar en su ciclo de recolección.

El objetivo de este trabajo es evaluar el trabajo de un sacudidor de copa en las dos variedades principales de olivar tradicional en el sur de España. El trabajo de la máquina

se evaluará desde el punto de vista de la trayectoria y desde el punto de vista de adaptación del árbol al trabajo del sacudidor, con la intención de obtener pautas generales aplicables a cualquier sacudidor de copa y cultivo para mejorar la eficiencia de la máquina.

Material y Métodos

Se han realizado 3 tratamientos de poda diferentes para medir la adaptación de la máquina a cada uno de ellos en términos de eficiencia de derribo, así como la influencia de estos métodos sobre la capacidad productiva del cultivo y su viabilidad a lo largo del tiempo. Los tratamientos empleados son poda tradicional, poda adaptada a un sistema de sacudida de copa, y no poda.

- Poda tradicional: Poda realizada con herramientas manuales en la finca de forma habitual, sin ninguna indicación que modifique el método de poda normalmente usado.
- Poda adaptada a un sacudidor de copa: Poda realizada con herramientas manuales, favoreciendo la fructificación exterior del árbol, y dotándolo de una estructura circular que favorezca el trabajo en círculo alrededor del árbol.
- No poda: Árboles sin podar, que se han dejado para aumentar el volumen de copa y realizar posteriormente una poda mecanizada para conseguir una estructura homogénea que favorezca el trabajo del sacudidor.

Se ha planteado un diseño experimental en bloques completos al azar con 4 bloques y 8 árboles por tratamiento en cada bloque. Los ensayos se han realizado en dos fincas de olivar tradicional para aplicarlos sobre las dos variedades predominantes en el sur de España: Picual y Hojiblanca. Ambas parcelas se encuentran plantadas en un marco amplio, 12 x 12 m para la variedad Picual con 5000 m³ ha⁻¹ de volumen de copa, y 12 m al tresbolillo en la parcela del cultivar Hojiblanca con un volumen de copa de 6000 m³ ha⁻¹ (Figura 19).



Figura 19. Finca de olivar tradicional con árboles de varios pies, grandes copas irregulares y amplias distancias entre árboles.

La recolección de la parcela se realizó empleando un prototipo de sacudidor de copa MUESCO (máquina universal de ensayos de sacudidor de copa en olivar) diseñada para su aplicación en olivar tradicional configurable en diversos de parámetros de su funcionamiento como amplitud, frecuencia, densidad de varas, etc. (Figura 2)



Figura 20. Dispositivo de recolección experimental basado un sistema sacudidor de copa parametrizable en sus parámetros de funcionamiento con sistema de interceptación simultánea trabajando en un pase línea en un olivo tradicional.

Para el proceso de recolección con el prototipo diseñado, se emplearon distintos patrones de trabajo siguiendo los patrones de trabajo indicados en la figura 3.

- Trabajo en línea dando dos pasadas, una por cada lado del árbol.
- Trabajo en zigzag dando dos pasadas, una por cada lado del árbol.
- Trabajo en línea dando cuatro pasadas, una por cada lado del árbol.

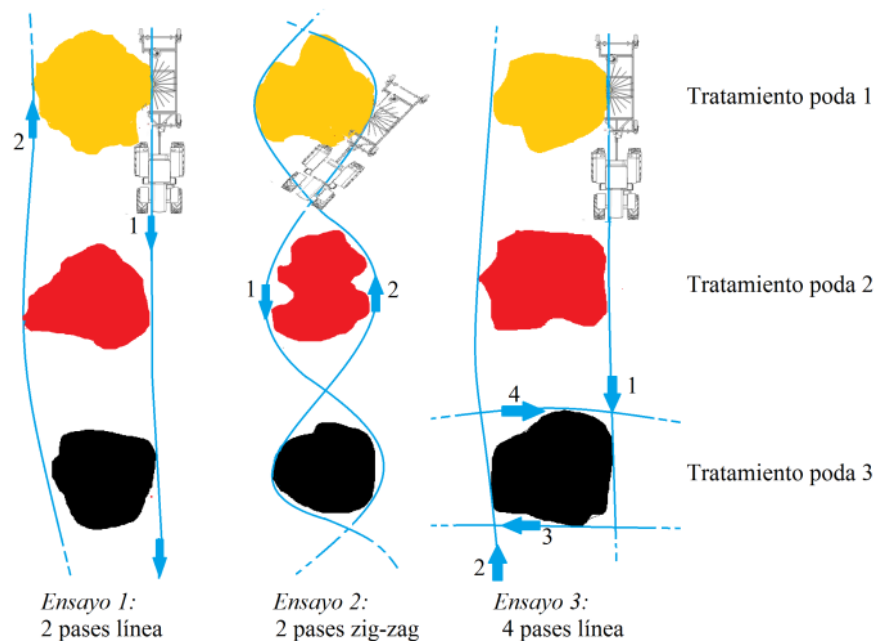


Figura 3. Diseño experimental de las parcelas de ensayo para poda con tres tipos de trayectorias de trabajo con 2 pases en línea, 2 pases en zig-zag y 4 pases en línea. En negro: árboles a los que se va a aplicar la poda tradicional. En amarillo: árboles a los que se va a aplicar la poda adaptada al sacudidor de copa. En naranja: árboles a los que se va a aplicar la poda mecánica.

En la fase de recolección de la aceituna del árbol, primero se da un pase con la máquina por cada uno de los lados del árbol, y posteriormente se apura el fruto que queda en la zona sacudida y en la zona exterior de la copa a la que el sacudidor no ha podido llegar por problemas de maniobrabilidad. Por último se recoge la producción interior del árbol, tomando como tal, los frutos situados en el volumen de copa que se encuentra a 1,5 m hacia el interior desde la envolvente de la copa. Del derribo total de la máquina se separan los restos vegetales, y se toma su peso en fresco, para caracterizar los daños producidos por la máquina.

Resultados y Discusión

El patrón de trabajo ha afectado al volumen de copa sacudido, puesto que la máquina carecía de un sistema de aproximación con suficiente longitud. Este hecho ha generado una variabilidad adicional, ya que, dependiendo de la forma del árbol no se ha llegado a sacudir toda la superficie exterior del árbol. Una simulación sobre un conjunto de árboles de una finca de ensayo con la cosechadora a escala proporcional, da una idea de la capacidad de sacudida del sistema en cuanto a volumen de copa se refiere para una trayectoria lineal con 4 pases cruzados para recolectar cada hilera de árboles (Figura).

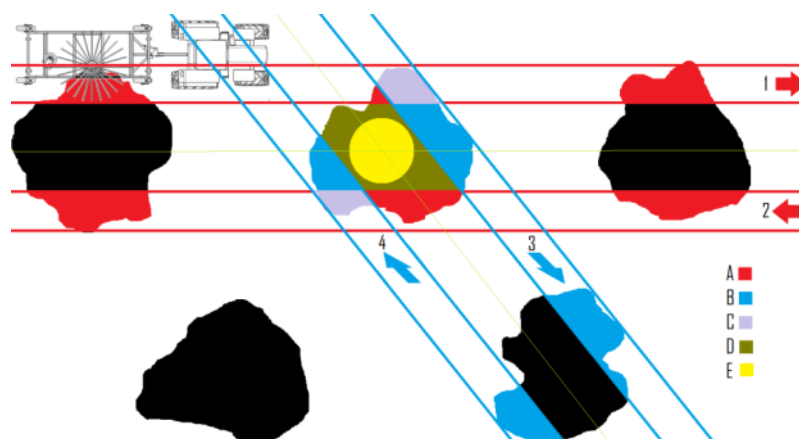


Figura 4. Esquema de pases en las 4 caras del árbol en un marco al tresbolillo, delimitando el volumen de copa sacudido en cada pase. Las zonas D y E no son sacudidas por la máquina, y por tanto, distorsionan el porcentaje de derribo.

En la Figura se aprecia que la zona central de la copa queda sin recoger, ya que el sistema de sacudida no puede acceder a esa zona de la copa (zona E). Sin embargo, la zona D se encuentra en una zona accesible para el sistema de sacudida, por lo que es fundamental que una cosechadora integral que busque altos valores de eficiencia, sacuda esa zona de la copa. En este sentido es importante poner en relieve, que los sistemas sacudidores de copa sólo derriban fruto en aquellas zonas en las que sacuden la copa con cierta intensidad. Estos resultados están de acuerdo con las eficiencias de derribo medidas por Ravetti y Robb (2010), que obtenían porcentajes superiores al 90 % para cosechadoras cabalgantes en olivar intensivo, siempre que existiese un buen contacto entre el sistema de derribo y la copa del árbol.

Para la variedad Picual, un 25,3 % de la producción registrada se ha recogido del suelo, el resto del vuelo del árbol. Por este motivo es imprescindible un adelanto en la época de recolección, especialmente en esta variedad, para permitir una recolección integral del vuelo del árbol que asegure una buena calidad del producto final. Sin embargo, en la variedad Hojiblanca, los porcentajes de fruto recogido del suelo ha sido muy inferior, 7,3

% debido principalmente a la maduración más tardía de este cultivar y a la mayor fuerza de retención del fruto (FRF). En la variedad Picual se registró un $9,6 \pm 2,8$ % de la producción del vuelo del árbol se encuentra en el interior de la copa y por lo tanto resulta inaccesible para la máquina, mientras que para la variedad Hojiblanca, se registró un $14,0 \pm 7,2$ % de fruto inaccesible a la máquina.

En la Tabla 8 se muestran los porcentajes de derribo totales registrados en los distintos tratamientos de poda y trayectorias de la máquina. Estos porcentajes de derribo son bajos debido a la falta de un sistema de aproximación en el órgano de sacudida. Aunque no existe significación estadística, existe una tendencia a generar un mayor porcentaje de derribo, y un mayor daño en los tratamientos de poda con mayor densidad foliar. Este hecho puede basarse en que a mayor densidad de material vegetal en la copa, mayor es la probabilidad de que las varas impacten con este material, y por tanto, mayor probabilidad de derribo y de generar daños. En este sentido, otros autores han determinado que ciertos sacudidores de copa empleados para recolectar naranjas requieren una formación de la plantación en seto para alcanzar una eficiencia de recolección máxima (Peterson, 1998).

Tabla 8. Porcentajes de derribo obtenidos en función del tratamiento de poda para la variedad Picual. Los valores muestran media \pm desviación típica de los árboles recogidos.

Variedad	Trayectoria	Poda	Derribo exterior (%)	Derribo total en el volumen de copa sacudido (%)	Peso de los daños (kg)
Picual	Lineal 2 pases	Tradicional	$73,4 \pm 13,5$	$62,8 \pm 12,4$	$0,39 \pm 0,44$
		Adaptada	$79,1 \pm 5,6$	$67,3 \pm 5,7$	$0,76 \pm 1,0$
		No podado	$80,0 \pm 5,5$	$67,2 \pm 7,0$	$1,42 \pm 3,1$
	Zig-zag	Tradicional	89,4	80,6	0,64
		Adaptada	$87,3 \pm 8,0$	$79,5 \pm 9,0$	$10,57 \pm 7,22$
		No podado	$92,1 \pm 3,0$	$80,3 \pm 2,1$	$13,78 \pm 7,83$

Sin embargo, para la variedad hojiblanca, no se aprecia la misma tendencia respecto al derribo que para la variedad picual, ya que los árboles con mayor densidad foliar son los que proporcionan menores porcentajes de derribo, aunque en este caso, los daños al árbol también parecen aumentar cuando lo hace la densidad de copa (Tabla 9).

). Esto puede deberse a la prevalencia de otros factores como el ratio fuerza de retención del fruto/peso fresco (FRF/PF) frente a la probabilidad de impacto de las varas. La importancia de la FRF del fruto puede deberse principalmente a las grandes diferencias medidas en las parcelas de ensayo picual ($2,34 \pm 1,15$ N) y hojiblanca ($5,25 \pm 0,57$ N). Sin embargo cuando el intervalo de la FRF es muy reducido, su importancia a la hora de explicar el derribo es muy limitada (Castro-García *et al.*, 2015).

Tabla 9. Porcentajes de derribo obtenidos en función del tratamiento de poda para la variedad Hojiblanca. Los valores muestran media \pm desviación típica de los árboles recogidos.

Finca	Trayectoria	Tratamiento de poda	Derribo exterior (%)	Derribo total (%)	Daños (kg)
Hojiblanca	Lineal 2 pases	Tradicional	38,5 \pm 10,8	34,0 \pm 9,6	-
		Adaptada	33,2 \pm 9,0	29,2 \pm 8,3	-
		No podado	34,2 \pm 12,3	28,6 \pm 10,5	-
	Lineal 4 pases	Tradicional	65,1 \pm 12,9	57,6 \pm 11,6	1,89 \pm 2,29
		Adaptada	58,9 \pm 16,1	51,7 \pm 14,5	1,71 \pm 1,96
		No podado	58,6 \pm 14,1	47,7 \pm 11,8	3,05 \pm 3,39

Atendiendo a la trayectoria de la máquina, el pase en zig-zag por las dos caras de la calle ha proporcionado los mayores datos de derribo, aunque el nivel de daños registrado también ha sido muy elevado. Por otro lado el pase en línea ha proporcionado porcentajes de derribo significativamente menores, y también ha dado lugar a un daño casi inapreciable. La trayectoria lineal con 2 pases no resulta adecuada para trabajar en olivar tradicional, ya que sólo sacude un pequeño porcentaje del volumen de copa total del árbol, dejando gran parte del mismo intacto. La trayectoria en zig-zag generó mayores niveles de derribo, al aproximarse más a la copa del árbol y sacudir mejor las zonas fructíferas de la misma. Sin embargo, los daños generados al árbol en esta trayectoria fueron muy superiores.

Se han encontrado diferencias significativas tanto en los porcentajes de derribo como en los daños generados al árbol para las dos trayectorias ensayadas. La trayectoria en zig-zag aporta mayores porcentajes de derribo y daños. Esto se debe a que el sistema de derribo entra en contacto con un mayor volumen de copa (Tabla 10). Los porcentajes de derribo se sitúan alrededor del 80 %, coincidiendo con los porcentajes registrados otros ensayos con sacudidores de copa en olivar tradicional (Sola-Guirado *et al.*, 2014), aunque los daños proporcionados por la trayectoria en zig-zag han sido superiores debido a la falta de protección en el sistema de transmisión.

Tabla 10. Porcentajes de derribo y daños generados por dos patrones de circulación del sacudidor de copa para la variedad Picual. Letras diferentes indican diferencias significativas entre trayectorias según la prueba T de Student para muestras independientes.

Variedad	Trayectoria	Derribo exterior (%)	Derribo total del volumen de copa sacudido (%)	Peso de los daños (kg)
Picual	Lineal 2 pases	79,5 \pm 9,1 a	65,7 \pm 8,7 a	0,7 \pm 1,9 a
	Zig-zag	89,4 \pm 5,9 b	79,9 \pm 6,0 b	10,5 \pm 7,6 b

En la Tabla 11 Se muestran los resultados para la variedad Hojiblanca, tomando las trayectorias lineales con 2 y 4 pases por árbol. Aunque la trayectoria con 2 pases resulta muy interesante de cara a aumentar la capacidad de trabajo de la máquina, los porcentajes de derribo registrados son muy bajos, por lo que no se puede considerar como una alternativa. La trayectoria lineal con 4 pases cruzados también proporciona porcentajes de derribo reducidos, por lo tanto, el sistema de derribo empleado debe mejorarse para trabajar en la variedad Hojiblanca (Tabla 11). Respecto a la capacidad de trabajo de la máquina, el método más interesante para recoger el olivar tradicional son los pases alrededor del árbol, método con el cual se alcanza una capacidad de trabajo superior a 0,36 ha h⁻¹ (Castillo-Ruiz *et al.*, 2015). Para ello es fundamental tener una alta

capacidad de adaptación del sistema de sacudida a la copa, tanto en lo que se refiere a una alta capacidad de aproximación de los sistemas de varas, como en dotar al vehículo automotriz o al conjunto tractor-máquina, de un radio de giro muy reducido.

Tabla 11. Porcentajes de derribo y daños generados por dos patrones de circulación del sacudidor de copa para la variedad Hojiblanca. Letras diferentes indican diferencias significativas entre trayectorias según la prueba T de Student para muestras independientes.

Variedad	Trayectoria	Derribo exterior (%)	Derribo total (%)	Peso de los daños (kg)
Hojiblanca	Lineal 2 pases	35,4 ± 10,8 a	30,7 ± 9,3 a	-
	Lineal 4 pases	61,1 ± 14,4 b	52,6 ± 13,1 b	2,2 ± 2,1

El análisis del derribo exterior en base al diseño experimental no ha proporcionado ninguna diferencia significativa en cuanto a derribo (Tabla 12). La producción total si ha proporcionado diferencias significativas para la variedad Hojiblanca. Los árboles no podados han aumentado su producción respecto a los podados, sin embargo, este aumento no ha sido significativo respecto a la poda adaptada. Para mejorar la eficiencia de la cosechadora basada en sacudidores de copa, es fundamental reducir el porcentaje de producción interior. Este valor se ha mostrado muy similar para la variedad Picual sin mostrar diferencias significativas para los tratamientos de poda. Sin embargo ha sido significativamente superior en los árboles no podados para la variedad Hojiblanca, lo que justifica los menores porcentajes de derribo obtenidos en los árboles no podados de la variedad Hojiblanca. Los coeficientes de variación presentados en la finca Fuente la Rosa son del orden del doble de los observados en la finca Torreblanca, esto es debido a la mayor heterogeneidad de la parcela de ensayo.

Tabla 12. Resultados del análisis del derribo exterior y producción para un diseño experimental en bloques completos al azar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de poda para la misma finca según el test de Duncan.

	Derribo exterior (%)		Producción total (kg)		Producción interior (%)	
	Picual	Hojiblanca	Picual	Hojiblanca	Picual	Hojiblanca
Tradicional	73,3 a	65,1 a	148,5 a	57,9 a	10,0 a	12,0 a
Adaptada	79,2 a	58,9 a	144,3 a	67,1 ab	9,7 a	12,9 a
No podado	80,0 a	58,6 a	167,6 a	79,7 b	9,9 a	17,2 b
CV (%)	11,8	23,5	17,9	45,5	28,0	51,3

La producción interior puede emplearse como una medida para predecir la eficiencia de derribo en el volumen de copa sacudido. Ambos factores se relacionan de forma muy significativa, según la función indicada en la Figura 5. Toda acción de poda que pretenda adaptar el olivar tradicional a la recogida con sacudidores de copa, debe intentar reducir la vegetación interior para reducir el porcentaje de fruto producido en el interior de la copa.

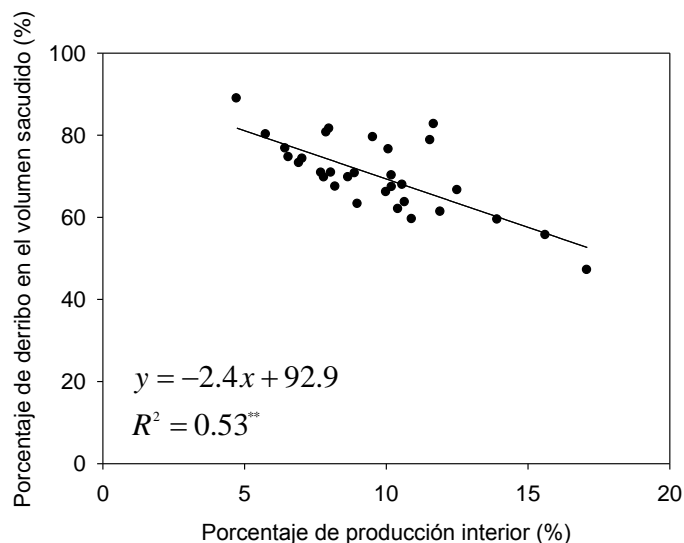


Figura 5. Regresión lineal entre el porcentaje de producción interior y el porcentaje de derribo en el volumen de copa sacudido para la variedad Picual.

Conclusiones

Alcanzar unos niveles mínimos de eficiencia en el trabajo de un sacudidor de copa en olivar tradicional es posible. Sin embargo, la mejora del sistema de derribo pasa por diseñar una máquina que consiga realizar un trabajo en continuo manteniendo en todo momento un contacto íntimo con la copa del árbol. Con ello se alcanza un doble objetivo: por un lado, se supera el 80 % de derribo, que podría considerarse el umbral económico para que resulte interesante el empleo de una cosechadora integral, y por otro lado, se aumenta la capacidad de trabajo de la maquinaria de recolección.

La adaptación de los árboles a la máquina es un proceso que requiere tiempo, sin embargo los primeros datos parecen indicar que la densidad del follaje externo facilita el proceso de sacudida. En el mismo sentido, es fundamental reducir el porcentaje de producción interior del árbol, ya que las dimensiones y la estructura del olivar tradicional impiden que el sistema de sacudida penetre en esta zona de la copa.

Agradecimientos

Los autores agradecen la concesión del convenio CPP “MECAOLIVAR” por parte del Ministerio de Economía y Competitividad cofinanciado por fondos FEDER. También agradecen el apoyo de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español para el desarrollo de la investigación. Así como la concesión de una beca FPU por parte del ministerio de Educación, Cultura y Deporte al tercero de los autores. Por último, también se desea agradecer la colaboración de los propietarios y trabajadores de las fincas Torreblanca (Santiago de Calatrava, Jaén) y Fuente la Rosa (La Rambla, Córdoba).

Bibliografía

- AEMO (Asociación Española de municipios del olivo), 2012. Aproximación a los costes del cultivo del olivo. Último acceso: 30/03/2015 Disponible en: <http://www.aemo.es/descargas/descargas.php>
- Castillo-Ruiz, F.J., Pérez-Ruiz, M., Blanco-Roldán, G.L., Gil-Ribes, J.A., Agüera, J., 2015. Developement of a telemetry and yield-mapping system of olive harvester. *Sensors*. 15, 4001-4018.
- Castro-García, S., Castillo-Ruiz, F.J., Jimenez-Jimenez, F., Gil-Ribes, J.A., Blanco-Roldan, G.L., 2015. Suitability of Spanish 'Manzanilla' table olive orchards for trunk shaker harvesting. *Biosyst. Eng.* 129, 388-395.
- CEICE (Consejería de innovación ciencia y empleo, Junta de Andalucía), 2012. Estudio sobre la cadena de valor en la producción y distribución del aceite de oliva en Andalucía. Último acceso: 30/03/2015 Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/defensacompetencia/sites/all/themes/competencia/files/Serie%20estudios%2001_0.pdf
- Ferguson, L., 2006. Trends in olive fruit handling previous to its industrial transformation. *Grasas Aceites*. 57, 9-15.
- Freixa, E. Septiembre 2009. Estudio Comparativo sobre la viabilidad económica de explotaciones de olivar intensivas y superintensivas en Cataluña. Último acceso: 30/03/2015 Disponible en: <http://www.maqtec.com/wp-content/uploads/2014/04/estudio.pdf>
- Gil-Ribes, J.A., López-Giménez, F.J., Blanco-Roldán, G.L., Castro-García, S., 2008. Capítulo 13, Mecanización. En Barranco, D., Fernandez, R., Rallo, L. (Eds:). *El Cultivo del olivo* 435-509, Madrid.
- Peterson, D.L., 1998. Harvester picks ripe citrus faster. *Agr. Res.* 46, 8–9.
- Ravetti, L., Robb, S., 2010. Continuous mechanical harvesting in modern Australian olive growing systems. *Adv Hort Sci* 24, 71-77.
- Sola-Guirado, R.R., Castro-García, S., Blanco-Roldán, G.L., Jiménez-Jiménez, F., Castillo-Ruiz, F.J., Gil-Ribes, J.A., 2014. Traditional olive tree response to oil olive harvesting technologies. *Biosyst. Eng.* 118, 186-193.

M11 - Desarrollo y primeros resultados de una aplicación móvil para la pre-inspección de equipos de tratamientos fitosanitarios

Martínez, J.¹, Pérez-Ruiz, M.¹ y Agüera, J.²

¹Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluido, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera km1 Sevilla 41013, E-mail: martinezj@us.es; manuelyperez@us.es; ²Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Campus Rabanales 14014 Córdoba, E-mail: jaguera@uco.es.

Resumen

Por todos es conocido que el presente y futuro de las aplicaciones de productos agroquímicos pasa por una buena regulación, calibración y mantenimiento de los equipos que se utilizan. Tanto Europa como los países miembros y sus comunidades autónomas, en el caso de España, a través de sus instituciones (Universidades, Consejerías, etc.), están trabajando concienzudamente en el protocolo de inspección. Es de prever que en muchos equipos la primera inspección será desfavorable, y además supondrá un coste económico alto para el propietario, independientemente de que el equipo pase la inspección de forma favorable o no. Este hecho hace que no se conciba este control con la “percepción beneficiosa” que pueda tener la administración. Por todo ello, este equipo de trabajo ha decidido centrarse en el término “pre-inspección” y desarrollar una aplicación gratuita de autocontrol para dispositivos móviles que permita al propietario o su técnico agrícola conocer el estado de su máquina antes de acudir a una inspección “oficial” y de esta forma solventar los posibles problemas detectados. Para su desarrollo se ha usado programación orientada a objetos (POO) con Java en entorno Android. En los primeros equipos que han formado parte de este estudio se ha conseguido, por una parte poner en conocimiento y mostrar los elementos y aspectos a controlar y por otra, generar de forma gratuita y fácil un informe donde se indica los elementos y aspectos a solventar antes de ir a una inspección. Esta aplicación de pre-inspección ha sido una herramienta muy valorada por los usuarios como mantenimiento preventivo.

Palabras clave: maquinaria agrícola, App, Android, pulverizador hidráulico, medioambiente

Development and preliminary results of a mobile application to perform pre-inspection of sprayer equipment.

Abstract

It is widely acknowledged that the present and future practice of pesticide applications requires good regulation, calibration and maintenance of the equipment used. European countries and their regional governments, in the case of Spain, through its institutions (Universities, Councils, etc.), are working conscientiously towards inspection protocol. It is expected that many sprayers will not pass the first inspection, and there will be a significant cost to the owner, whether the equipment passes the inspection or not. This fact makes this inspection protocol is not conceived with the "beneficial perception" as the administration may have. Therefore, this research group has decided to focus on the term “pre-inspection” and develop a free mobile application for self-assessment that allows the owner or agricultural technician check the status of the sprayer before inspection. This would address the possible problem identified. The application was written in an object oriented programming language (OOP) – Java – for an Android platform. For the first sprayers considered in this study there have been several achievements: firstly informing about and showing those elements and aspects of the sprayer which need to be controlled and secondly, generating simply and without cost a report describing those elements and aspects which must be resolved before going for an inspection. This approach to pre-inspection has proved to be highly very valued by users as a tool for preventive maintenance.

Keywords: agricultural machinery, App, Android, hydraulic sprayer, environment

Introducción y Justificación

Según la SPISE (Standardised Procedure for the Inspection of Sprayer-2012), en Europa, existen más de 1,2 millones de pulverizadores hidráulicos y 1 millón de pulverizadores hidroneumáticos. El 75% de los equipos se encuentran concentrados en Italia, Francia, Polonia y España, sólo en 4 de los 27 países que conforman la Unión Europea. En España tenemos unas 100.000 unidades de pulverizadores hidráulicos y aproximadamente el doble, 200.000 unidades de pulverizadores hidroneumáticos, según la SPISE (Wehmann, 2012). El número y el funcionamiento correcto de estos equipos provocan un alto interés por gobiernos, consumidores, agricultores y cadenas de distribución cada vez más conscientes de la necesidad de velar por aquellos aspectos involucrados en la seguridad alimentaria y en la calidad de las materias que compran.

En búsqueda de un marco legislativo común al respecto, es el Real Decreto 1702/2011 del 18 de noviembre (BOE nº 296 de 9 de diciembre), de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios el que traspone el artículo 8 y el Anexo II de la Directiva 2009/128/CE, y en el cual se establece un marco de actuación comunitario para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. En este Real Decreto, se señala que serán las distintas Comunidades Autónomas quienes establecerán un programa de inspecciones obligatorias, para que todos los equipos de aplicación se inspeccionen en una estación de Inspección Técnica de Equipos de Aplicación de Productos Fitosanitarios (ITEAF), antes del 26 de noviembre de 2016 bajo la gestión del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Además se establece un protocolo de inspección de los distintos elementos a revisar, que se ha elaborado trabajando de forma conjunta con los distintos organismos regionales (Consejerías, Universidades, etc...) y que se puede consultar en la página web del MAGRAMA.

En varias Comunidades Autónomas ya se han regulado las inspecciones periódicas, concretamente Navarra, Murcia, Cataluña, Madrid, Aragón, La Rioja, País Vasco y Valencia, pero son muchas las que aún están intentando encontrar el camino de hacerlo. Cabe destacar el trabajo realizado por la Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera (AIMCRA) en Castilla y León, con más de 1500 unidades de barras inspeccionadas. De estas inspecciones el 43% de los equipos fueron evaluados no conforme y el 57% pasaron la inspección (AIMCRA, 2014). En algunas comunidades como Andalucía e Islas Baleares, aunque existe alguna regulación, realmente aún no se han puesto en marcha las ITEAF (Marzo de 2015).

Entre las consecuencias que se derivan de la realización de estas inspecciones a los equipos aplicadores pueden considerarse principalmente el ahorro en productos fitosanitarios, ya que con una máquina en buenas condiciones de trabajo se obtienen aplicaciones eficientes y eficaces, lo que se traduce en un ahorro de costes para el agricultor; el evitar la creación de resistencias en el cultivo a los productos debido a una mala aplicación o el aumento de la seguridad al trabajar con aplicadores que cumplan con la normativa europea.

Los resultados obtenidos en base a los trabajos realizados con objeto de conocer el estado real de los equipos de aplicación de fitosanitarios por la Universidad de Sevilla y que han tenido lugar en el entorno de los propietarios de varias explotaciones agrícolas de la zona Sur de Andalucía nos permiten partir de la hipótesis contrastada de que una

gran mayoría de los equipos que actualmente se encuentran trabajando en el campo no cumplirían con los requisitos necesarios para obtener un informe de inspección favorable. Esto puede deberse a dos causas principales, como son: i) que por la antigüedad de dichos equipos y sus características de construcción no sea posible cumplir con estos estándares propuestos o; ii) que en equipos más modernos, por desconocimiento de qué elementos van a ser inspeccionados y en qué estado deberían encontrarse por parte del propietario, el informe de la inspección sea desfavorable. Esta segunda situación, conlleva un gasto tanto de tiempo como de dinero para el agricultor que podría evitarse con un mayor conocimiento de qué requerimientos deberá cumplir su equipo de tratamiento (Caro-Bellido y Pérez-Ruiz, 2015).

Es en este punto en el que debemos atender a cómo las tendencias de consumo de información y tecnología actuales han modificado muchos aspectos de la sociedad actual y por supuesto, en el ámbito agrícola, destacando de entre ellas el uso de los dispositivos móviles con fines de lo más diverso. Las aplicaciones móviles (app) que pueden desarrollar los propios usuarios de las plataformas representan nuevas posibilidades para la movilidad de contenidos cuando se utilizan en los teléfonos inteligentes o tabletas. El uso y versatilidad de estos dispositivos desde los que se puede acceder a todo tipo de contenidos resulta hoy en día evidente y cotidiano, ya que se ha interiorizado por una amplia parte de la sociedad como una herramienta indispensable.

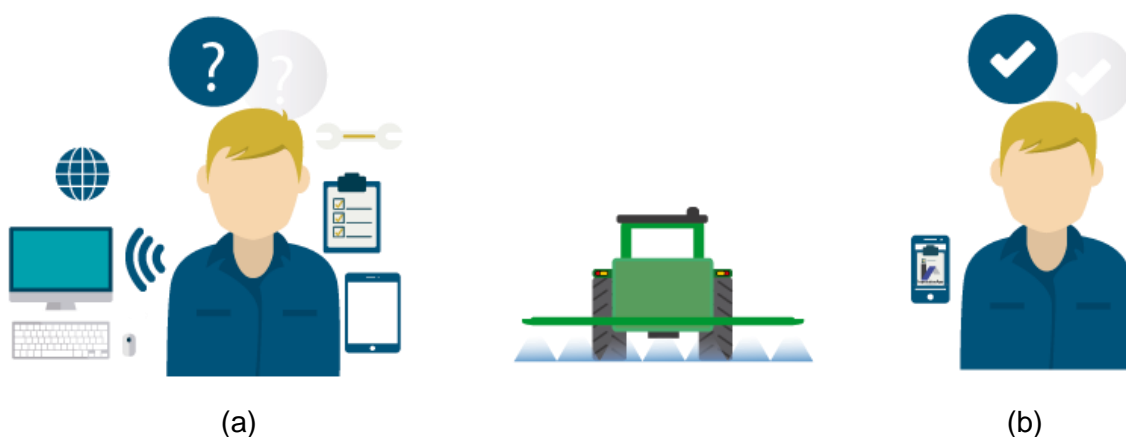


Figura 1. a) Director o inspector de ITEAF con todos los elementos a su disposición para llevar a cabo una inspección “oficial” y b) propietario o técnico agrícola con la aplicación desarrollada para llevar a cabo la “pre-inspección”.

La Universidad de Zaragoza ha desarrollado el programa PRITEAF (Jiménez *et al.*, 2013) y el Ministerio de Agricultura ha editado un Manual de Inspección de Equipos de Aplicación de Fitosanitarios en Uso para formar sobre todo a los directores y técnicos de las unidades ITEAF, sin embargo no existen herramientas sencillas, que los autores a día de hoy conozcan, para que el propio agricultor o su técnico agrícola pueda conocer el estado de su máquina antes de acudir a una inspección “oficial”. Por ello este equipo de trabajo ha buscado relacionar el ámbito de la inspección de equipos fitosanitarios con el uso de estas nuevas herramientas móviles, para el desarrollo de una aplicación móvil centrada no en la inspección como tal, sino en la posibilidad de que el agricultor o técnicos usuarios de ésta realicen de forma gratuita un chequeo previo de aquellas partes que se vayan a inspeccionar y de esta manera sepan qué se les va a revisar y en

qué estado deberá de encontrarse en una revisión “oficial”. Bajo este concepto de “pre-inspección” la aplicación desarrollada busca facilitar al agricultor la tarea de revisar los puntos del equipo que el MAGRAMA establece y generar un informe previo del estado de su máquina para su propio conocimiento (Figura 1).

Materiales y Métodos

En este apartado se detallan por separado el proceso de desarrollo de la aplicación móvil y posteriormente la primera fase de testeo de la misma por parte de usuarios.

Sistema Operativo Android

Puesto que el objetivo perseguido con este trabajo es el desarrollo de una aplicación que funcione en dispositivos móviles como smartphones y tablets, es necesario un conocimiento previo acerca de cuáles son las plataformas que existen actualmente y qué presencia tienen en el mercado. Las plataformas más importantes en función del volumen de mercado son actualmente Android de Google, iOS de Apple, Windows Phone de Microsoft y BlackBerry 10. De acuerdo con datos recientes (IDC's Worldwide Quartely Mobile Phone Tracker- 2015), tanto Android como iOS abarcan el 94% de todo el mercado mundial de móviles, siendo por tanto las dos principales plataformas para las que interesa desarrollar las aplicaciones y de este porcentaje, un amplio porcentaje (el 81%) de los smartphones trabaja bajo el sistema de Google (Figura 2).

Dado que se considera prioritaria que la aplicación sea útil, sencilla, difundida y utilizada, el hecho de que Android sea el sistema más utilizado unido a que se trata de un sistema de código abierto y libre en el que la programación de aplicaciones gratuitas es muy común en desarrolladores hizo que fuese el Sistema Operativo (SO) elegido para el desarrollo de esta aplicación para pre-inspección.

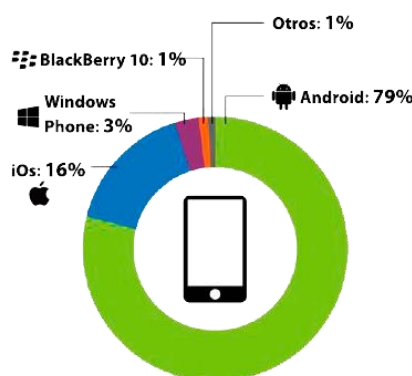


Figura 2. Cuotas de mercado de smartphones por Sistema Operativo instalado en 2014
(Fuente: visionmobile.com).

Diseño

La programación en Android implica que la aplicación se debe desarrollar utilizando el lenguaje Java, un lenguaje de programación orientado a objetos, y se decidió que debido a la fragmentación de versiones de Android que existen en los muchos dispositivos en el mercado, la aplicación debería funcionar en terminales que posean una versión del sistema operativo posterior al Android 4.0, ya que se trata según estadísticas proporcionadas por Google, de una versión que se en el momento de realizar este trabajo, se encuentra instalada en alrededor del 90% de dispositivos. Para

el desarrollo del código Java en Android se ha utilizado el kit de desarrollo de software Android Studio recomendado por Google para sus aplicaciones.

Desarrollo

Respecto al funcionamiento interno y a la estructura de la aplicación, el grupo de trabajo ha intentado diseñar y desarrollar la aplicación teniendo en mente, en todo momento, a los usuarios a los que se destina, realizar una aplicación con estructura sencilla en la que de una pantalla principal o “Home”, de paso a la pre-inspección de los elementos sin accionar de la máquina y a los elementos a revisar con la máquina en marcha. Una vez dentro de cada una de estas ramas, el usuario dispone de las distintas zonas o secciones en las que se divide la inspección, y dentro cada una de ellas, de las pantallas de “preguntas” (Figura 3).

Cada pantalla de pregunta muestra la cuestión que se realiza al usuario respecto a un tema en concreto del Manual de Inspecciones del MAGRAMA y le permite elegir entre los estados que da el propio manual: sin defecto, leve o grave. Para ayudar al usuario a conocer qué considera el MAGRAMA como defecto grave, leve o sin él, se incluyen 3 figuras de colores a modo de “semáforo” en las que haciendo “click” se despliega un cuadro de diálogo explicativo.

Las preguntas acerca del estado de los diferentes elementos se han organizado en dos grupos principales: por un lado, se muestran las preguntas correspondientes al escenario en que la máquina está parada, que a su vez están agrupadas en preguntas acerca de: Limpieza de la máquina y protección del eje, Depósito, Manómetros y equipos de medida, Tuberías y filtros, y Barra.

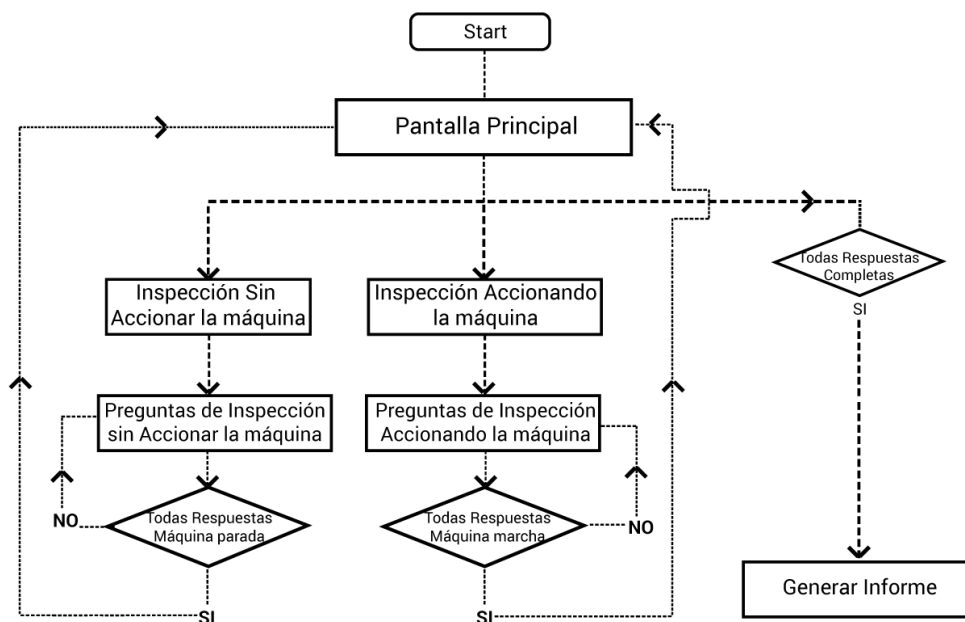


Figura 3. Diagrama de la estructura de funcionamiento y manejo de la aplicación

Por otro lado se encuentran las preguntas que corresponden al escenario en el cual se debe accionar la máquina y responder a las preguntas organizadas en: Bomba, Depósito y conducciones, Barra, y Medidas.

Una vez completadas todas las preguntas y volviendo a la pantalla de Home, la aplicación permite la generación de una pantalla de Informe en la que muestra al

usuario las respuestas a las preguntas realizadas y por medio de un sistema de puntuación le informa sobre si su máquina pasaría o no la inspección al cumplir con lo descrito en el Manual del MAGRAMA.

Uno de los aspectos principales que se ha tenido en cuenta a la hora de diseñar tanto el contenido como la apariencia de la aplicación ha sido la importancia de la sencillez, la necesidad de que sea amigable al usuario, y que no necesite de la conexión a Internet que podría no estar siempre presente en condiciones de campo donde la App se pueda utilizar.

Evaluación de utilización de la aplicación

Poner a disposición de los técnicos y agricultores una herramienta que permita conocer los puntos vulnerables de la maquinaria de aplicación ante una inspección técnica oficial es algo esencial. Para una primera evaluación se ha seleccionado un grupo de 25 usuarios potenciales (entre 22 y 52 años) y se le ha pasado una encuesta para evaluar la usabilidad de la aplicación para móvil. El método utilizado ha sido el basado en pruebas con usuarios (12 técnicos agrónomos y 13 agricultores) utilizando el prototipo producto.

En estas pruebas además del correcto funcionamiento de la aplicación, se evaluaron las impresiones de los usuarios respecto al diseño de la misma, la facilidad de uso y la utilidad que estos usuarios ven en una aplicación de este tipo con la posibilidad de que el agricultor/propietario o responsable de la explotación sea consciente de qué y de qué forma se va a evaluar su equipo de aplicación de agroquímicos. Las preguntas que se hicieron a los posibles usuarios en forma de cuestionario fueron las siguientes:

- a) - ¿Como técnico del sector agrícola, crees necesario una mayor información y formación sobre las inspecciones de las máquinas de tratamiento fitosanitario?
- b)- ¿Crees realista invertir 5 minutos en una pre-inspección de una máquina de aplicación de fitosanitarios?
- c)- Consideras realista cobrar al propietario por el servicio de pre-inspección de su maquinaria de aplicación de productos fitosanitarios.
- d)- ¿Consideras realista utilizar este servicio de pre-inspección como herramienta de fidelización de clientes (en lugar de cobrar)?
- e)- En la aplicación, ¿El diseño y aparición de los elementos se ajusta a lo esperado?
- f)- ¿Están claramente expresados los elementos a inspeccionar y los criterios para darlos por válidos?
- g)- ¿Crees que un equipo que pase correctamente esta pre-inspección pasaría sin problemas la inspección oficial?
- h)- ¿Es lo suficientemente sencilla para ser utilizada por técnicos en campo?
- i)- ¿Qué puntos de inspección crees más ambiguos a la hora de decidir sobre su conformidad?
- j)- ¿Qué mejorarías?

Resultados y Discusión

Una vez concluida la fase de desarrollo para la primera versión de la aplicación móvil, se ha conseguido crear una herramienta funcional con una interfaz de usuario sencilla, adecuada para que se pueda utilizar por los técnicos y agricultores en sus lugares de trabajo, que contiene la información del manual para la inspección de estas máquinas editado por el MAGRAMA, sin necesidad de estar conectado a Internet y reduciendo el número de dispositivos y materiales necesarios a un smartphone.

Se trata de una herramienta visualmente atractiva, con botones y textos en tamaño grande, con las preguntas agrupadas por elementos a inspeccionar y con una pantalla de Informe que le da al usuario un veredicto inmediato (**Figura 4**).

De las 48 preguntas requeridas para pre-inspeccionar el equipo, 42 de ellas, un 87,5 %, pueden ser contestadas a partir de una simple inspección visual, sólo 6, un 12,5%, necesitan de instrumentación especializada para llevar a cabo medidas y poder contestar las preguntas con plena seguridad (ej. caudales y presiones en boquillas). Considerando una probabilidad homogénea de no conformidad para todos los puntos inspeccionados, se deduce que un resultado favorable de la pre-inspección deja una incertidumbre del 12,5% de obtener la total conformidad en la inspección oficial, pero en cambio, el resultado desfavorable de la pre-inspección nos asegura el 100% de probabilidad de no conformidad. Es este último caso al que va dirigido especialmente esta herramienta ya que previene de un resultado negativo antes de llegar la máquina a la inspección oficial, lo que permite solucionar a tiempo el problema que presente. La Tabla 1 nos muestra la probabilidad de obtener un resultado (favorable/desfavorable) en la inspección oficial en función del resultado obtenido en la pre-inspección, haciendo un uso correcto de la aplicación desarrollada.

Tabla 1. Probabilidad de obtener una inspección favorable utilizando la aplicación desarrollada.

		Utilizando PreInspeccionApp	
		Pre-Inspección Favorable	Pre-Inspección Desfavorable
ITEAF oficial	Inspección Favorable	87.50%	0%
	Inspección Desfavorable	12.50%	100%

Como se observa, un resultado favorable obtenido en el informe generado por la aplicación proporciona al usuario un 87.5% de posibilidades de que la inspección oficial de su máquina sea favorable. Consecuentemente, resta un 12.5% de ocasiones en las que, debido a que se deben tomar medidas en campo de distintos elementos, la pre-inspección por parte del usuario que no disponga de la instrumentación para realizarlas podrá no ser favorable. Por otro lado, si el resultado de la aplicación es desfavorable, se puede afirmar al 100% que la inspección oficial será desfavorable, lo que proporciona al usuario una ventaja previa al poder conocer y reparar aquellos elementos que estén defectuosos o desgastados previamente a la inspección “oficial”.



Captura de la pantalla principal y las 3 vías para interactuar.

Pantalla con los diferentes grupos de elementos a inspeccionar Sin Accionar la máquina.

Ejemplo de pantalla de pregunta. Cada icono de colores muestra al ser pulsado la información del Manual del MAGRAMA.

Captura de pantalla del Informe generado, en este caso, la inspección será favorable.

Figura 4. Capturas de las diferentes pantallas de la aplicación.

En lo que respecta a los resultados obtenidos en la encuesta realizada al grupo de usuarios potenciales, estos reflejan unanimidad en cuestiones importantes relativas a las inspecciones como la necesidad de un mayor conocimiento por parte de los agricultores y técnicos de la normativa que articula las inspecciones (RD 1702/2011) y que ocurrirá a partir de 26 de noviembre de 2016. Además existe un gran porcentaje de encuestados que opinan que la aplicación sería una buena herramienta gratuita de fidelización de clientes (Figura 5), preferiblemente de carácter gratuito por parte de los organismos y estaciones encargadas de realizar estas inspecciones.

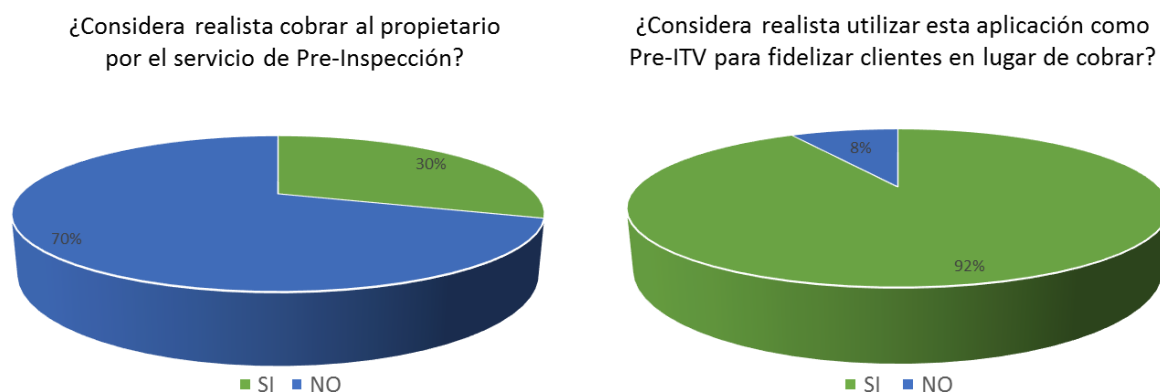


Figura 5. Resultados extraídos de la encuesta respecto al servicio de pre-inspección.

Las preguntas relativas al diseño, la utilidad y la aparición de los elementos de la aplicación (preguntas e), f) y h)) obtienen también un 100% de valoraciones positivas, señalando que el aporte de las nuevas tecnologías aplicadas a este tipo de cuestiones

serán bien valoradas por los técnicos que la utilicen (Figura 6), y destaca además que un amplio porcentaje del 58% y 17% consideran que con seguridad o de forma probable respectivamente, al utilizar la aplicación el resultado en la inspección oficial sería favorable.

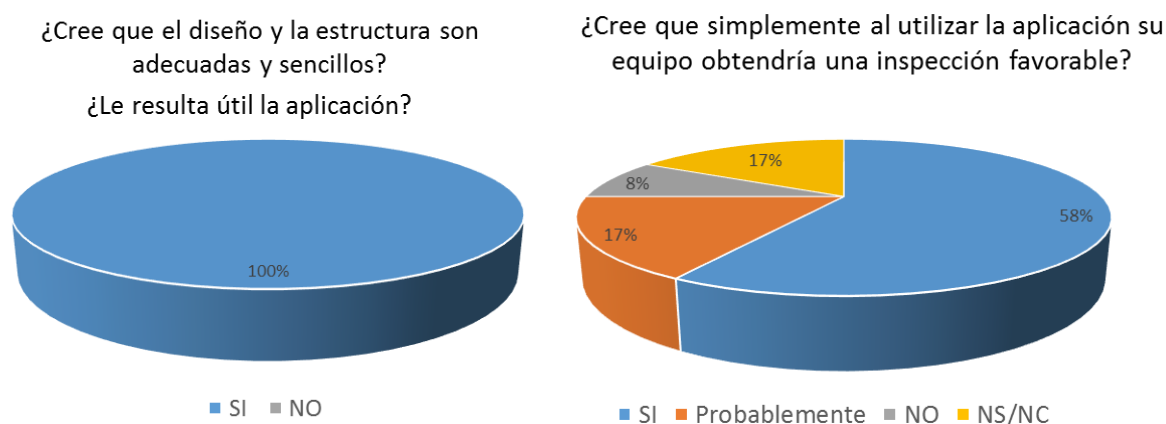


Figura 6. Resultados extraídos de la encuesta respecto a la utilidad de Pre-inspecciónApp.

Conclusiones

De los primeros resultados obtenidos tras el diseño, desarrollo y las primeras pruebas con usuarios potenciales de la Pre-inspecciónApp, se puede concluir que la aplicación cubre un espacio que hasta el momento no había sido abordado por las administraciones y que con un buen uso de la aplicación es de gran ayuda para conseguir que muchas de las máquinas de tratamiento que tienen que ser inspeccionadas de forma obligatoria en los próximos años lo hagan de forma satisfactoria. Así mismo esta aplicación también puede ayudar a acelerar el conocimiento en materia de elementos a inspeccionar en el sector agrícola y que el 26 de noviembre de 2016 existan un mayor número de máquinas inspeccionadas.

Esta demanda de información y de medios que consideramos deben provenir de las administraciones pertinentes se hace patente en cuestiones como el desconocimiento de qué partes de la máquina van a ser inspeccionadas o cuáles serán los criterios que se van a seguir para dar como válido o no un determinado elemento.

Por ello la aplicación desarrollada recoge aquellos criterios expuestos en el manual del ministerio y los traslada a un entorno móvil, cada día más presente en nuestra sociedad, para que al técnico le sea fácil realizar por su cuenta un primer chequeo del estado de su máquina para su propio conocimiento antes de llevarla a la estación de inspección oficial.

Como se ha expuesto en los resultados, la probabilidad de obtener una inspección favorable utilizando previamente la aplicación es significativamente alta, pudiendo ser este porcentaje aún mayor si se dispone de las herramientas necesarias para realizar las mediciones en campo, que corresponden al último apartado de preguntas dentro de la aplicación.

De la encuesta realizada a diferentes personas relacionadas, se ha obtenido un *feedback* respecto a las primeras impresiones del diseño, sencillez y usabilidad, siendo

la primera acogida muy buena, valorándola positivamente y teniendo en cuenta sus opiniones para posteriores mejoras en otras versiones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro de las actuaciones y con la financiación de la Cátedra ADAMA de la Universidad de Sevilla.

Bibliografía

Caro-Bellido, D., Pérez-Ruiz, M., 2015. Trabajo Final de Máster “Inspección y mejora de equipos de aplicación de fitosanitarios: Pulverizadores hidráulicos”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla.

IDC's Worldwide Quarterly Mobile Phone Tracker, 2015. Android and iOS squeeze the competition, swelling to 96.3% of the smartphone operating system market for both 4Q14 and CY14.

<http://www.android.com/>

Jiménez, A., García, F.J., Vidal, M., Boné, A., 2013. Desarrollo de una aplicación informática para la realización de las inspecciones de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid, 26-29 agosto 2013.

Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios (BOE 09.12.2011).

Wehmann, H.J., 2012. Actual survey on the actions of the countries in Europe to implement the inspection system of sprayers concerning the Directive 2009/128/EC. Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers-SPISE 4. Lana (South Tyrol), March 27-29.

M12 - Avaliação do efeito do corte horizontal da copa, com máquina de podar de discos, em pomares de pera “Rocha”

Dias, A.B.¹, Patrocínio, S.², Pereira, S.², Brites, T.², Pita, V.², Mota Barroso, J.M.³

¹ Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora. Núcleo da Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal adidas@uevora.pt; ² Cooperfrutas CRL. Quinta das Freiras, Ponte do Jardim, 2460-617 Alcobaça, Portugal; ³ Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora. Núcleo da Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. jmb@uevora.pt

Resumo

A poda da pereira é uma tarefa que requer grande utilização de mão-de-obra, apesar da utilização de equipamentos de poda manual assistida. No âmbito do projeto Proder intitulado "Avaliação da poda mecânica em pomares de pera 'Rocha', pretende-se encontrar soluções de poda que permita reduzir os custos e a dependência da mão-de-obra. Neste trabalho mostram-se os resultados de um ensaio onde se avaliou o efeito do corte horizontal na parte superior da copa das pereiras, na capacidade de trabalho na execução da poda e na produção de pera. Utilizou-se a máquina de podar de discos Reynolds 6DT semi-montada em tractor, equipada com uma barra de corte de 3,0m com 6 serras circulares de discos. O ensaio, que decorreu entre 2012 e 2014, foi estabelecido num pomar adulto com cerca de 20 anos, instalado a 4 x 2 m, segundo a direção Norte-Sul, conduzido em eixo central revestido. O ensaio foi delineado em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada bloco constituído por uma linha com 14 árvores. As modalidades de poda foram: T1 - poda com máquina de podar de discos seguida de poda manual de complemento; corte horizontal na parte superior da copa seguida de poda manual de complemento, em cada um dos anos; T2 - poda manual assistida, em cada um dos anos. Procedeu-se à medição da altura das árvores e da largura da copa, antes e após a poda. Avaliou-se o tempo de poda e a massa de pera produzida. O corte horizontal da copa com máquina de discos permite controlar a altura das árvores com bastante rapidez, contribuindo para uma redução de cerca de 14% no tempo de execução da poda manual de complemento. Não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos na produção de pera.

Palavras chave: poda mecânica, Pereira, eixo central, produção

Evaluation of mechanical topping with a disc-saw pruning machine, in “Rocha” pears orchards

Abstract

Current pear pruning making use of pneumatic shears still is a very labour intensive operation. The Proder project “Avaliação da poda mecânica em pomares de pera” was designed to contribute to solutions that would reduce the present dependence in labour and therefore to promote a reduction in pruning costs. This paper shows the results of a trial made to evaluate the influence of mechanical topping in manual pruning complement field work and pear yield. Topping was performed using a Reynolds 6DT 3.0m cutting bar with six hydraulic-driven circular disc-saws mounted in the three point tractor linkage system. The field trial was performed in a commercial orchard with 20 years, planted in an array of 4m x 2m with tree lines oriented in North-South direction. Trees were trained as the central leader system. In this trial, in a randomised complete block design with four replications, two treatments are being compared leading to 8 plots with one line of 14 trees per plot. The treatments tests were: T1 - manual pruning performed by workers using pneumatic shears, in each year; T2 - Topping the canopy parallel to the ground, using a discs-saw pruning machine mounted in a front loader of an agricultural tractor, followed by manual pruning complement performed by workers with pneumatic shears. Tree height and width was measured, before and after pruning. Work was timed and pear yields evaluated. Mechanical topping seems to be effective in the control of tree height, which can contribute to increase 14% of work rates on manual pruning complement. No significant differences in pear yield were found between treatments.

Keywords: mechanical pruning, pear fruit trees, central axis, yield

Introdução

A poda de pereiras é uma tarefa que necessita de grande utilização de mão-de-obra, representando cerca de 50 a 60% dos custos de produção (Sousa, 2004), apesar da utilização de equipamentos de poda manual assistida.

A necessidade de reduzir os custos de poda, bem como a dependência da mão-de-obra levou os olivicultores californianos a utilizarem máquinas de podar de discos (Hartmann *et al.*, 1960). Segundo Loreti (1971) foi a necessidade de reduzir os custos com a mão de obra na operação de colheita que levou os fruticultores americanos a diminuírem a dimensão da copa das árvores com a utilização de máquinas de podar de discos. O aumento da densidade de plantação e a condução em eixo contribuíram para o aparecimento de pomares de nogueiras em sebe, para os quais se definiu uma estratégia de poda com máquinas de discos (Ramos *et al.*, 2001).

Segundo Sansavini (1978) a utilização de máquinas de podar permitirá a obtenção de melhores resultados em pomares conduzidos em sebe e com elevadas densidades de plantação. O tipo de corte a realizar deverá ter em consideração os hábitos de frutificação da cultura, pelo que a intensidade do corte dependerá do objectivo pretendido. A execução de cortes horizontais na parte superior da copa originará uma intensa resposta vegetativa enquanto que cortes nas faces laterais da copa permitirão renovar os ramos frutíferos nessa zona da copa. A adequação da densidade de plantação com a condução das árvores em eixo duplo permite controlar o volume de copa em pomares de macieiras com máquinas de podar (Dorigoni *et al.*, 2011), utilizando o conceito de poda em verde.

Em Portugal apenas em 1997 se iniciaram os primeiros trabalhos sobre poda com máquina de discos (Dias *et al.*, 2012). A crescente necessidade dos produtores de reduzirem os custos de produção levou a que em 2008 se iniciasse um ensaio de avaliação da utilização da máquina de podar de discos na poda de pereiras da variedade 'Rocha' (Dias *et al.*, 2009). Este trabalho foi suportado, a partir de 2012 pelo projeto Proder intitulado "Avaliação da poda mecânica em pomares de pera 'Rocha'". No âmbito deste projecto realizou-se entre 2012 e 2014 um ensaio de avaliação do efeito do corte horizontal na parte superior da copa das pereiras, na capacidade de trabalho na execução da poda e na produção de pera.

Material e Métodos

Pomar

O pomar onde se estabeleceu o ensaio está localizado na zona da Denominação de Origem Protegida "Pêra Rocha do Oeste", em Landal - Caldas da Rainha – Portugal (39°18'28.50"N; 9°01'15.49"W). . O pomar encontra-se instalado num solo de baixa, profundo e media fertilidade, junto a uma linha de água. Trata-se de um pomar adulto da variedade Rocha, com porta-enxerto franco, instalado a 4 m x 2 m, segundo o quadrante Norte-Sul. O pomar tem cerca de 25 anos e, inicialmente, foi conduzido em vaso. Há cerca de 10 anos a condução foi adaptada para um sistema de eixo central, que se mantém.

Os técnicos da organização de produtores fazem o acompanhamento técnico ao longo de todo o ciclo da cultura, nomeadamente em termos fitossanitários e de fertilização. As infestantes são controladas com aplicação de herbicida na linha e controlo mecânico com destruidor na entrelinha.

O pomar está equipado com sistema de rega gota-a-gota, permitindo a utilização da fertirrigação.

Equipamentos

Dado que na região da Denominação de Origem Protegida “Pêra Rocha do Oeste” se utilizam tratores fruteiros, que na maior parte dos casos não possuem carregadores frontais, adquiriu-se em 2012 uma máquina de podar de discos Reynolds 6DT montada no sistema de engate de três pontos do trator.

A máquina requer sistema de engate de três pontos, tomada de força no regime 540 rpm e tomada de corrente elétrica. Trata-se de uma máquina que trabalha semi-montada, apenas necessitando do sistema de engate de três pontos para as manobras de cabeceira (Figura 1) e para transporte em estrada.



Figura 1. Manobra na cabeceira com máquina de podar de discos Reynolds 6DT

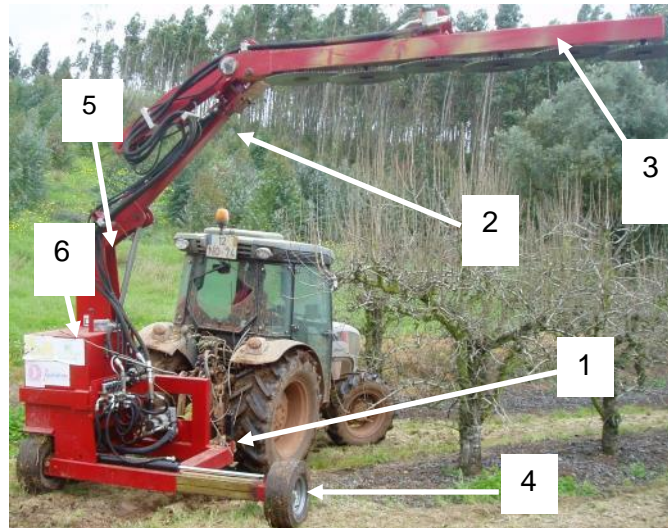
Este equipamento é constituído por (Fig. 2):

- estrutura de suporte;
- barras de elevação;
- barra de corte;
- sistema hidráulico autónomo.

A estrutura de suporte liga-se ao sistema de engate de três pontos do trator e dispõe de rodas de apoio na parte posterior, para trabalho, com um eixo telescópico acionado hidráulicamente (Figura 2). O eixo telescópico permite ajustar a posição das rodas de apoio em função da largura da entrelinha, bem como melhorar o equilíbrio do conjunto.

No lado esquerdo da estrutura de suporte existe uma coluna, na qual se articula a barra de elevação. Na extremidade da barra de elevação está fixa a barra de corte, que suporta seis serras circulares de corte com 600 mm de diâmetro. A barra de elevação é telescópica, de acionamento hidráulico, para permitir ajustar a posição da barra de corte

à largura da entrelinha do pomar. Com a barra de corte na posição vertical (Figura 3) ao estendermos a barra de elevação é possível aproximar os discos de corte do solo para cortar ramos inseridos na parte baixa da copa das árvores.



Legenda: 1 – Estrutura de suporte; 2- Barra de elevação; 3 – Barra de corte, 4 – Rodas de apoio; 5 – Coluna; 6 – Reservatório de óleo

Figura 2. Constituição da máquina de podar de discos

A colocação da barra de corte na posição pretendida é efetuada por cilindros hidráulicos, enquanto que o accionamento das serras circulares de discos é assegurado por um motor hidráulico colocado na parte superior da barra de corte, assegurando cerca de 2700 rpm nas serras circulares (Figura 2).



Figura 3. Vista posterior da máquina de podar de discos

Nas intervenções de poda manual foram utilizadas tesouras pneumáticas ligadas a um compressor. O compressor estava montado numa plataforma automotriz elevatória que permite aos podadores alcançarem mais facilmente a parte superior da copa das árvores. A referida plataforma é utilizada quer na poda, quer na colheita da pera produzida (Figura 4). A equipa de poda é normalmente constituída por 4 podadores, estando 2 podadores na plataforma e dois podadores no solo. Um dos podadores da plataforma controla a deslocação ao longo da entrelinha.



Figura 4. Plataforma automotriz utilizada na poda manual

Metodologia

Neste trabalho definiram-se os seguintes tratamentos: tratamento 1(T1) – poda com máquina de podar de discos seguida de complemento manual; corte horizontal da parte superior da copa em cada um dos anos (2012 a 2014) e poda manual no resto da copa; tratamento 2 (T2) – poda estritamente manual em cada um dos anos (2012 a 2014).

O ensaio foi delineado em blocos casualizados com 4 repetições num total de 8 talhões. Cada talhão era constituído por 1 linha de 14 árvores, tendo-se utilizado as 10 árvores centrais para registo das observações (Figura 5).

0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T1R1
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T2R1
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T1R2
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T2R2
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T1R3
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T2R3
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T1R4
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	0	T2R4

Legenda: 0 –árvores bordadura; 1 a 10 – árvores para registo observações;
TxRy – linha de árvores do tratamento “x”, repetição “y”

Figura 5. Esquema do campo de ensaio

Avaliaram-se os seguintes parâmetros:

- tempo de poda – registaram-se os tempos gastos na execução das intervenções de poda manual de cada tratamento, em cada talhão;
- dimensão das árvores – procedeu-se à medição da altura das árvores e da largura da copa das árvores em cada talhão, antes e após a poda;
- produção - a produção das árvores de cada talhão foi colocada em palotes devidamente identificados que posteriormente foram enviados para a central fruteira da Cooperfrutas, onde se avaliou a massa existente em cada palote.

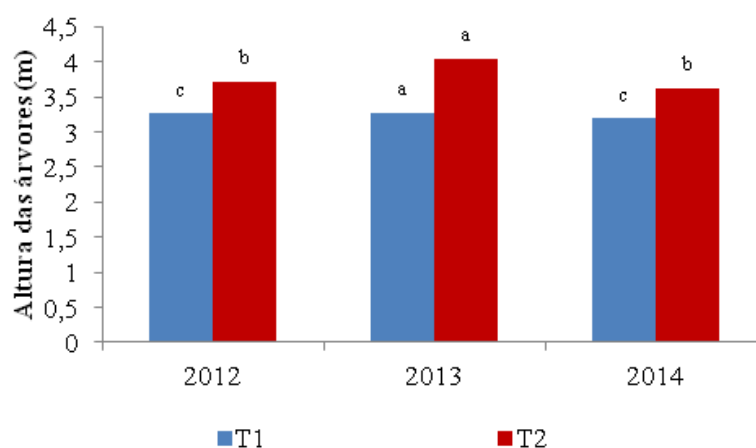
Foi feita a análise de variância (ANOVA), utilizando o programa MSAT-C. Sempre que a análise de variância revelou diferenças significativas, foi feito o Teste de Separação Múltipla de Médias de Duncan para um nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Dimensão das árvores

Em relação à altura das árvores após a poda, verificaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$) na interação ano*tratamento (Figura 6). As árvores podadas manualmente (T2) apresentavam uma altura significativamente superior ($P \leq 0,05$) àquelas onde se efectuou o corte horizontal na parte superior da copa (T1).

Na condução em eixo central pretende-se deixar as árvores com um lançamento terminal saliente na parte superior da copa. Ao deixar-se este tipo de lançamento no tratamento 2, contribuiu-se para que as árvores ficassem mais altas do que as do tratamento 1. Neste tratamento (T1) define-se previamente a altura de corte e a máquina corta indiscriminadamente qualquer tipo de ramo, mas obtém-se uma maior uniformidade na altura das árvores.

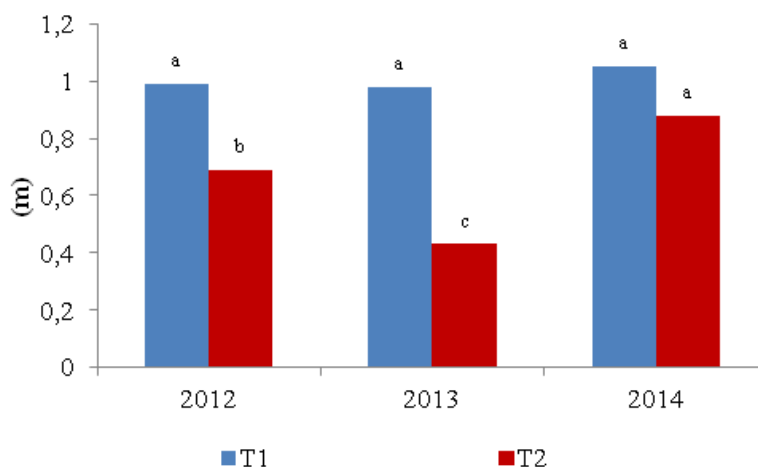


Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P \leq 0,05$)

Figura 6. Altura média das árvores após a poda, por tratamento, em cada um dos anos.

Na figura 7 mostra-se o aumento na altura das árvores que ocorre em cada ciclo vegetativo anual, por tratamento. Verificaram-se diferenças significativas ($P \leq 0,05$) na interação ano*tratamento em termos de crescimento das árvores em altura. Em 2012 e em 2013, o aumento da altura das árvores no tratamento 1 foi significativamente

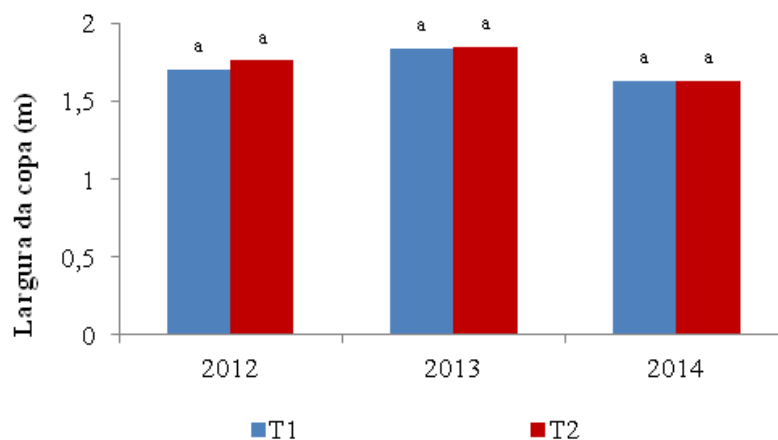
superior ($P \leq 0.05$) ao registado no tratamento 2. Em 2014 não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P \leq 0.05$) embora o tratamento 1 tenha registado maiores valores.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P \leq 0.05$)

Figura 7. Incremento na altura das árvores por tratamento, em cada um dos anos

Estes resultados mostram que a realização de cortes indiscriminados na parte superior da copa (tratamento 1), zona onde existe maior exposição solar, origina uma resposta vegetativa das árvores mais intensa, com a emissão de vários ramos ladrões, conforme refere Sansavini (1978). Este tipo de lançamentos também surge nas árvores podadas de forma estritamente manual (T2), embora não atinjam o mesmo desenvolvimento. Visto tratarem-se de ramos que não são produtivos, será necessário proceder à sua remoção das árvores todos os anos. Poderão ser eliminados de forma selectiva com poda manual. No caso de se optar por realizar poda com máquina de discos será conveniente efectuar o corte horizontal na parte superior da copa a uma altura ligeiramente inferior à praticada no ano anterior. Deste modo evita-se o aumento da densidade de ramos nessa zona da copa.

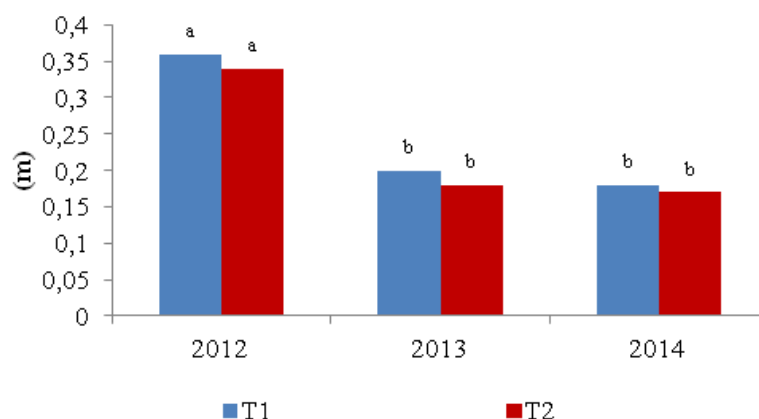


Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P \leq 0.05$)

Figura 8. Largura média da copa das árvores após a poda, por tratamento, em cada um dos anos.

Em termos de largura de copa após a poda, não se verificaram diferenças significativas ($P>0.1$) quer entre os tratamentos, quer na interação ano*tratamento (Figura 8). Tal era perfeitamente expectável visto que se efectuou o mesmo tipo de poda na parte lateral da copa, em cada tratamento. Embora as árvores tenham respondido ao corte horizontal na parte superior da copa (tratamento 1) com emissão de lançamentos vigorosos, tal não afectou os crescimentos na parte lateral da copa.

Relativamente ao incremento da largura da copa em cada um dos anos também não se verificaram diferenças significativas ($P>0.1$) quer entre os tratamentos, quer na interação ano*tratamento (Figura 9). Verificou-se que em 2012 o aumento da largura da copa foi superior ao obtido, quer em 2013, quer em 2014.

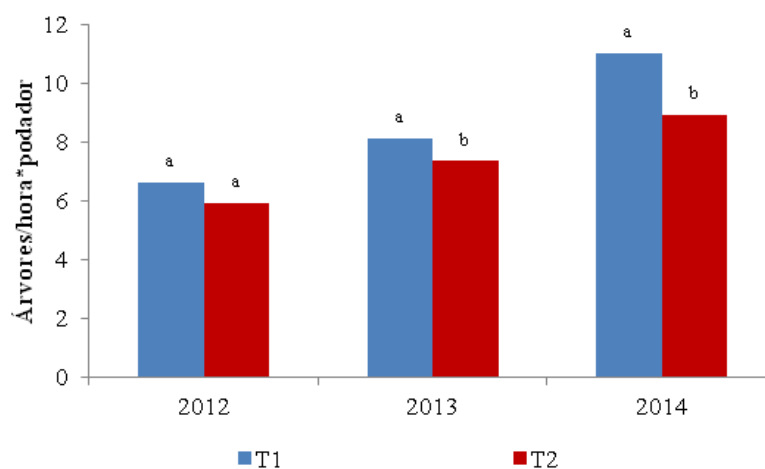


Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P\leq 0,05$)

Figura 9 – Incremento na largura da copa por tratamento, em cada um dos anos.

Capacidade de trabalho

Na figura 10 mostra-se a capacidade de trabalho na intervenção de poda manual para cada tratamento, em cada um dos anos.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P\leq 0,05$)

Figura 10 – Capacidade de trabalho na execução da poda manual, por tratamento, em cada um dos anos

Verificou-se que a capacidade de trabalho na execução da poda manual no tratamento 1 foi significativamente superior ($P \leq 0.05$) à que se obteve com poda exclusivamente manual (tratamento 2).

Para este resultado contribuíram:

- incutiu-se nos podadores manuais que não era necessário aperfeiçoar os cortes da máquina na parte superior da copa;
- procurou-se deixar as árvores do tratamento 2 com um lançamento terminal na parte superior da copa, o que terá levado a que fosse necessário despende mais algum tempo para seleccionar o melhor lançamento.

Tabela 1. Valores médios capacidade de trabalho na execução poda (Árvores/hora* pessoa)

Tratamento 1		Tratamento 2
Máquina discos	Poda manual de complemento	Poda manual
1250	8.6	7.4

De acordo com os resultados obtidos, a realização do corte horizontal na parte superior da copa com a máquina de discos permitirá, em média, um incremento na poda manual de cerca 1,2 árvores por hora*podador (Tabela 1)

Sabendo que a capacidade de trabalho da máquina de podar de discos é de cerca de 1250 árvores por hora (Tabela 1), quando se efectua apenas o corte horizontal na parte superior da copa (Dias *et al.*, 2014), a opção pela realização do corte com máquina de podar de discos dependerá do custo do tratamento 1 comparativamente com o tratamento 2. Admitindo que o preço de aluguer do conjunto tractor com máquina de podar de discos é de cerca de 60 euros por hora de trabalho e que cada podador recebe 7 euros por hora de trabalho, na figura 11 mostram-se os custos de poda para cada um dos tratamentos.

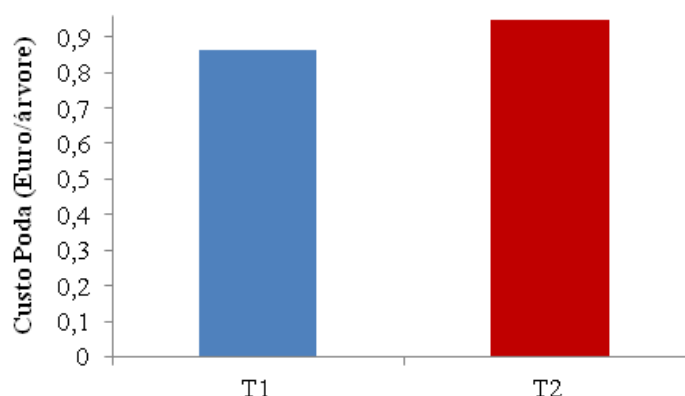


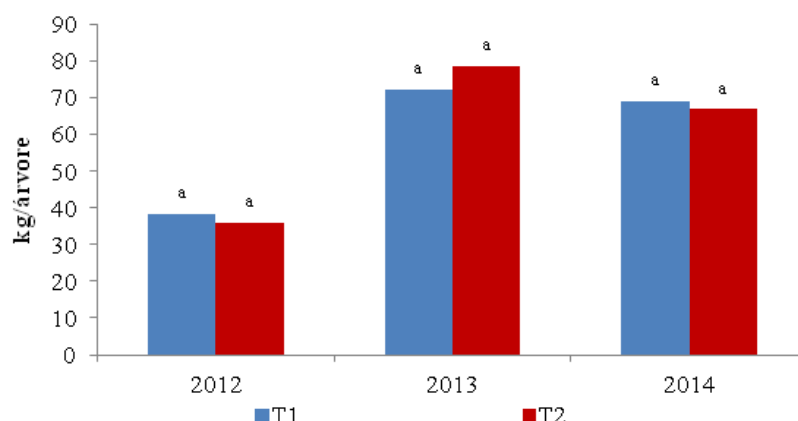
Figura 11. Custo de poda, em média, para cada um dos tratamentos

Verifica-se que a custo de poda por árvore no tratamento 1 é cerca de 14% inferior ao custo no tratamento 2. A opção pela realização de corte horizontal da copa com

máquina de discos dependerá da decisão do produtor em considerar pertinente a redução de custo de poda.

Produção de pera

Na figura 12 mostra-se a massa de pera produzida por árvore para cada tratamento, em cada um dos anos. Não se verificaram diferenças significativas ($P > 0.1$) quer entre tratamentos, quer na interação ano*tratamento. Estes resultados mostram que a execução do corte horizontal na parte superior da copa não afectou a produção de pera apesar das árvores ficarem com uma altura significativamente inferior às da poda estritamente manual.



Colunas acompanhadas de letras diferentes diferem significativamente entre si, segundo o teste de separação de médias de Duncan ($P \leq 0,05$)

Figura 12. Produção de pera por árvore para cada tratamento, em cada um dos anos

Conclusões

Os resultados obtidos neste ensaio confirmam que a utilização da máquina de podar de discos permite uniformizar a altura das árvores. A pertinência da realização do corte horizontal na parte superior da copa dependerá dos custos de poda e da oportunidade em dispor de máquina de podar de discos para a realização deste tipo de intervenção. O controlo do trabalho dos podadores manuais é fundamental para se obter um aumento da capacidade de trabalho na poda manual de complemento. Em face da emissão de ramos ladrões na parte superior da copa torna-se pertinente avaliar a possibilidade de efectuar o controlo destes lançamentos efectuando poda de Verão.

Agradecimentos

Este trabalho só foi possível graças ao financiamento do Ministério da Agricultura e do Mar concedido através da medida 4.1 Cooperação para a Inovação do programa Proder.

Bibliografia

- Dorigoni, A., Lezzer, P., Dallabetta, N., Serra, S., Musacchi, S. (2011). Bi-Axis: an Alternative to slender spindle for apple orchards, *Acta Horticulturae* 903, ISHS, 581-588.
- Dias, A.B., Patrocínio, S., Pereira, S., Brites, T., Pita, V., Mota Barroso, J., Tomás, C. (2014). A mecanização da poda de pereiras “Rocha” – utilização de máquina de podar de discos. *Actas Portuguesas de Horticultura*, nº 23, Associação Portuguesa de Horticultura, ISBN: 978-972-8936-16-7, pp. 78-86.
- Dias, A.B., Peça, J.O., Pinheiro, A., (2012). Long-Term Evaluation of the Influence of Mechanical Pruning on Olive Growing, *Agronomy Journal*, 104:22-25, doi:10.2134/agronj2011.0137.
- Dias, A.B., Pereira, N., Patrocínio, S., Pereira, S., Pinheiro, A., Peça, J.O. (2009). Resultado preliminar da utilização de uma máquina de podar de discos na poda de pereiras – variedade Rocha. *Proceedings of V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico AgroIngeniería*, Lugo, Espanha.
- Loreti, F. (1971). Prospettive della potatura meccanizzata negli alberi da frutto. *Rivista dell’Ortoflorofrutticoltura Italiana*, nº3.
- Ramos, D.E., Olson, W.H., Sibbett, G.S., Reil, W. (2001). Establishment and management considerations for walnuts hedgerows orchards, *Acta Horticulturae* 544, ISHS, 427-433.
- Sansavini, S. (1978). Mechanical pruning of fruit trees. *Acta Horticulturae* 65, ISHS, 183-197.
- Sousa, R. (2004) Poda, O equilíbrio da frutificação/frutificação em pomoideas (Macieira e Pereira). *Cadernos Rurais*, ACAP, Janeiro, Nº 1.

SESIÓN IV: CONSTRUCCIÓN

C01 - Análisis experimental de esfuerzos en un invernadero “raspa y amagado”.

Pérez-Alonso, J.¹, Callejón-Ferre, A. J.¹, Sánchez-Hermosilla, J.¹

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (CEIA3), La Cañada de San Urbano s/n, 04120 Almería. jpalonso@ual.es acallejo@ual.es, jusanche@ual.es

Resumen

El sistema productivo hortofrutícola de Almería se basa en la utilización de invernaderos de bajo coste, cuyas estructuras se encuentran constituidas por mallas de alambre pretensadas. Debido a esta naturaleza de estructura pretensada, y a que el suelo de los invernaderos, cuando se construyen se suele preparar mediante un enarenado, los cables del invernadero se suelen destensar. Para conocer la naturaleza de estos fenómenos, se realizó una evaluación experimental del comportamiento estructural de un invernadero de 1024 m² construido en 2009 en la Finca Experimental de la Universidad de Almería. Para ello, se instaló un equipo de adquisición de datos dotado de 5 células de carga (carga máxima 63 kN) en cinco elementos estructurales del invernadero. Los esfuerzos registrados por cada una de las células de carga se almacenaron en un ordenador instalado en una caseta de intemperie en la esquina noroeste del invernadero, así como los parámetros climáticos que registró una estación meteorológica instalada en dicha esquina del invernadero. Las células de carga han registrado los esfuerzos diarios cada 5 minutos desde Julio de 2009 a Junio de 2010. Tras el análisis de los datos, se ha observado que los cables analizados se han destensado a los pocos meses de entrar en servicio el invernadero, bien por asiento del suelo o por afloje de los amarres. Asimismo, se ha observado que existe una gran correlación entre los esfuerzos obtenidos con la radiación solar incidente sobre el invernadero.

Palabras clave: Hortofruticultura protegida, estructura, carga, radiación, coeficiente de correlación

Experimental efforts analysis in a “raspa y amagado” greenhouse

Abstract

Almería's horticultural production system is based on the use of low cost greenhouses whose structures are made with pre-stressed wire mesh. Due to this kind of pre-stressed structure, and as the greenhouse's soil is usually prepared by sanding when is built, the cables are often loosen. To know the nature of these phenomena, an experimental evaluation of the structural behaviour of a greenhouse has been carried on. This greenhouse of 1024 m² was built in 2009 at the Experimental Farm of the University of Almería. For this, we installed some data acquisition equipment with 5 load cells (maximum load 63 kN) in five structural elements of the greenhouse. The efforts recorded by each of the load cells were stored in a computer installed in a shed outside, in the northwest corner of the greenhouse. Also we monitored the climate parameters recorded by a weather station installed in that corner of the greenhouse. The load cells have recorded the daily efforts every 5 minutes from July 2009 to June 2010. After data analysis, has been observed that the cables analyzed have come loose within a few months of starting service the greenhouse, either because of the settlement of the soil or for the slacken of the ties. Also, has been observed that a great correlation exists between the efforts obtained by solar radiation on the greenhouse.

Keywords: Protected horticulture, structure, load, radiation, correlation coefficient

Justificación

La agricultura basada en modelos forzados en invernadero es uno de los principales motores de la economía en muchas zonas mundiales, destacando la Provincia de Almería en donde supone el 40% de la actividad económica. En España, otras provincias además de Almería, basan su desarrollo económico y social en la agricultura

bajo invernadero, de forma que esta actividad constituye el motor de su socioeconomía, dando empleo a gran cantidad de población. Mediante los invernaderos destinados a la producción hortofrutícola, Almería ha experimentado un enorme crecimiento socioeconómico y demográfico en las últimas décadas. La superficie actual de invernaderos se aproxima a las 30.000 ha, y la tipología de los mismos corresponde principalmente al invernadero "Tipo Almería" en un 96,5% (Fernández y Pérez, 2004) con tres variantes principales: "parral plano" (38,2 %), "raspa y amagado" (55,0 %) y "asimétrico" (3,3 %), que son adaptaciones estructurales, que se han desarrollado a lo largo de los últimos 50 años, de los antiguos parrales de uva de mesa que durante mucho tiempo fue el motor de la economía almeriense. Las estructuras de los invernaderos "Tipo Almería" se encuentran constituidas por mallas de alambre pretensadas.

Los invernaderos "Tipo Almería" en su versión más antigua, el subtipo "parral", poseen la cubierta horizontal, lo que obliga a perforar el plástico para evitar el colapso de la estructura cuando llueve. Estas perforaciones hacen que este subtipo sea poco hermético, imposibilitando la incorporación de sistemas activos de control climático (Valera *et al.*, 2003). Para evitar este inconveniente apareció posteriormente un nuevo subtipo con pendiente de la cumbrera, denominado "raspa y amagado". Este invernadero se ha extendido en las últimas décadas sustituyendo a los tradicionales invernaderos con cubierta plana. Posee una altura máxima del invernadero en la cumbrera, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante alambres denominados vientos y horquillas de hierro que permite colocar el canal de desagüe del agua de lluvia. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m y la de las bandas entre 2 y 2,5 m. En el subtipo "raspa y amagado" la separación entre los apoyos y los vientos del amagado suele ser de 2x4 m, utilizándose también separaciones como 2,5x4, 2x6 ó 2x8 m. El ángulo de cubierta oscila entre 6° y 20°, cuanto mayor es éste mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento. Finalmente, el subtipo "asimétrico" difiere del "raspa y amagado" en que las vertientes de la cubierta tienen distinta inclinación, con objeto de aumentar su capacidad de captación de energía solar. En este subtipo la altura máxima de la cubierta varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura en las bandas oscila entre 2,15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2x4 m, aunque también pueden encontrarse valores de 3x4 y 2x8 m.

En los 3 subtipos, la cubierta suele estar constituida por una estructura flexible compuesta por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero. Estas dos mallas, además de formar parte de la estructura del invernadero, sirven para sustentar la lámina de plástico entre ellas.

El primer proyecto de investigación que abordó la caracterización del proceso constructivo y materiales estructurales de los invernaderos "Tipo Almería" de la provincia de Almería, fue desarrollado por Pérez *et al.* (1992), y en el además se midieron esfuerzos en algunos elementos estructurales para obtener datos experimentales que sirvieran de base para el diseño del cálculo estructural del invernadero. Posteriormente, se caracterizaron las fases constructivas de los invernaderos "Tipo Almería" incluyendo

los aspectos de prevención de riesgos laborales, para obtener unos procesos de construcción más seguros para los trabajadores (Pérez-Alonso *et al.*, 2008a,b; Pérez-Alonso *et al.*, 2011a,b,c; Pérez-Alonso *et al.*, 2012; Pérez-Alonso *et al.*, 2013).

De los resultados de algunos de estos trabajos, la observación en campo, la naturaleza de estructura pretensada de estos invernaderos, y a que el suelo de los mismos se suele construir mediante un suelo de tipo *enarenado* (Ureña *et al.*, 2012), se puede afirmar que los cables del invernadero se suelen destensar, lo cual induce un inadecuado comportamiento de la estructura, que en la mayoría de los casos, conlleva el tener que realizar un retensado de la misma, con el coste económico consiguiente para el agricultor. Por todo ello, y debido a que no existen trabajos previos sobre el tema, para conocer la naturaleza de estos fenómenos se ha realizado una evaluación experimental del comportamiento estructural de un invernadero “*raspa y amagado*” de 1024 m² construido en la Finca Experimental de la Universidad de Almería.

Material y Métodos

La evaluación experimental del comportamiento estructural, se realizó en un invernadero “*raspa y amagado*” de 1024 m² situado en la Finca Experimental de la Universidad de Almería (36°52' N, 2°17' W, 98 m MSL).

El material de cubierta del invernadero fue polietileno termoaislante de 200 micras de espesor y el invernadero dispone de ventilación mediante ventanas laterales extensibles (automáticas), ventilación cenital abatible (automáticas), con una superficie de ventilación del 12,50 %. Todas las superficies de ventilación están provistas de mallas antiinsectos. El invernadero dispone de riego por goteo y sistema enarenado (Ureña *et al.*, 2012).

La evaluación experimental se inició con la instalación del equipo de adquisición de datos dotado de 5 células de carga (carga máxima 63 kN), en cinco elementos estructurales del invernadero. Estos cinco elementos estructurales emplazados en la zona noroeste del invernadero son los siguientes: Primer cable dintel desde el oeste, primera correa cenital desde el norte, primera correa intermedia desde el norte, cuarto amagado desde el oeste de la segunda línea de amagados desde el norte (en la Figura 1 se muestra una fotografía de la instalación de esta célula de carga), y finalmente cable directo en la fachada oeste en la segunda raspa desde el norte (se pueden identificar los puntos de instalación de las células de carga en la Figura 2).



Figura 1. Fotografía de una célula de carga instalada sobre el cable amagado

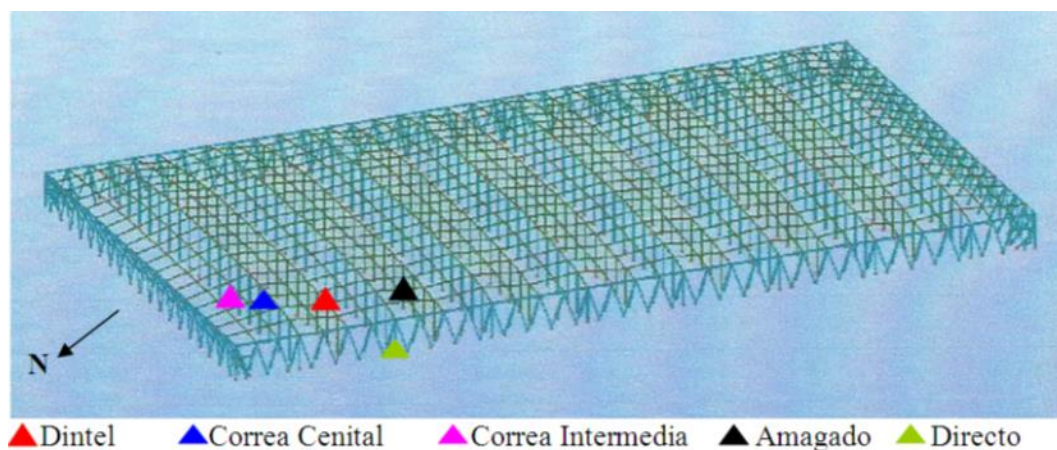


Figura 2. Localización de las células de carga en el invernadero

Los esfuerzos registrados por cada una de las células de carga se almacenaron en un ordenador HP, instalado en una caseta de intemperie en la esquina noroeste del invernadero, así como los parámetros climáticos que registra una estación meteorológica instalada en dicha esquina del invernadero. Se registraron los esfuerzos cada 5 minutos, para cada uno de los 5 elementos estructurales descritos, desde Julio de 2009 a Junio de 2010.

Simultáneamente a esta evaluación, se realizó un ensayo para determinar el efecto de sombreo provocado por láminas flexible fotovoltaicas colocadas en la cubierta del invernadero sobre los parámetros de producción y calidad en un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo “Daniela” (Ureña *et al.*, 2012; Pérez-Alonso *et al.*, 2013). La zona de instalación de dichas láminas fue la zona sur del invernadero, mientras que las células de carga se instalaron en la zona noroeste como ya se ha indicado, que era la zona testigo (sin placas), por lo que las células de carga no se encontraban sombreadas.

Para ello, se registraron los datos de radiación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento en el exterior mediante una estación meteorológica, y en el interior del invernadero temperatura y humedad relativa. La temperatura y humedad relativa se han registrado mediante 4 psicómetros provistos con sensor de Humedad relativa y Temperatura Nutricontrol (Nutricontrol S.L., Cartagena, Murcia, España), que se colocaron protegidos de la luz solar directa, ventilado y situado a una altura de 1,85 m sobre el suelo.

A los datos registrados durante el periodo experimental se les ha realizado un análisis descriptivo (media, máximo, mínimo y desviación estándar), y para observar cual de los parámetros ambientales explica mejor el valor de los esfuerzos registrados, se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson para los valores medios mensuales de todos los parámetros registrados.

Resultados y Discusión

Una vez realizado el análisis descriptivo de los esfuerzos registrados para cada una de las 5 células de carga, se han representado en la Figura 3 las medias de los esfuerzos para los meses del periodo analizado.

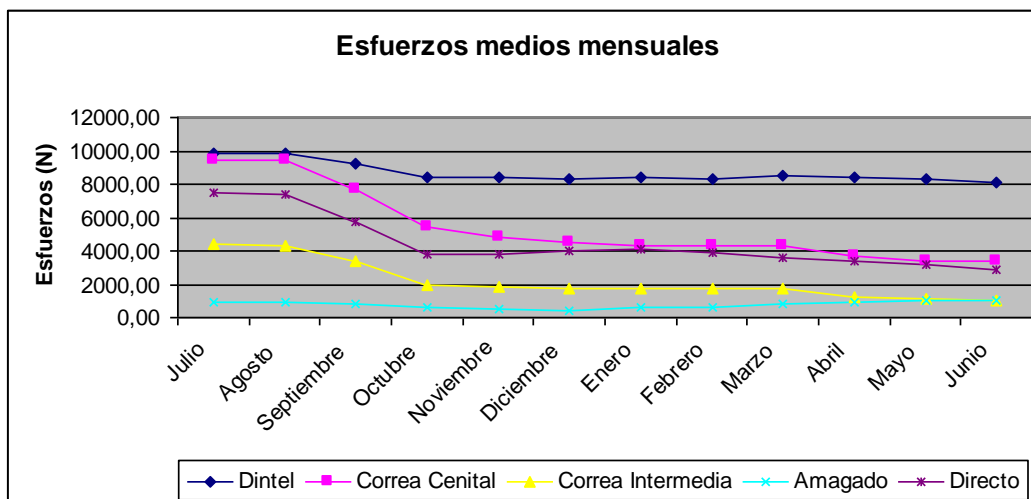


Figura 3. Esfuerzos medios mensuales de los cinco elementos estructurales

En la Figura 4 se muestra la variación de la media de la temperatura (°C) en el exterior del invernadero a lo largo del día para cada uno de los meses estudiados.

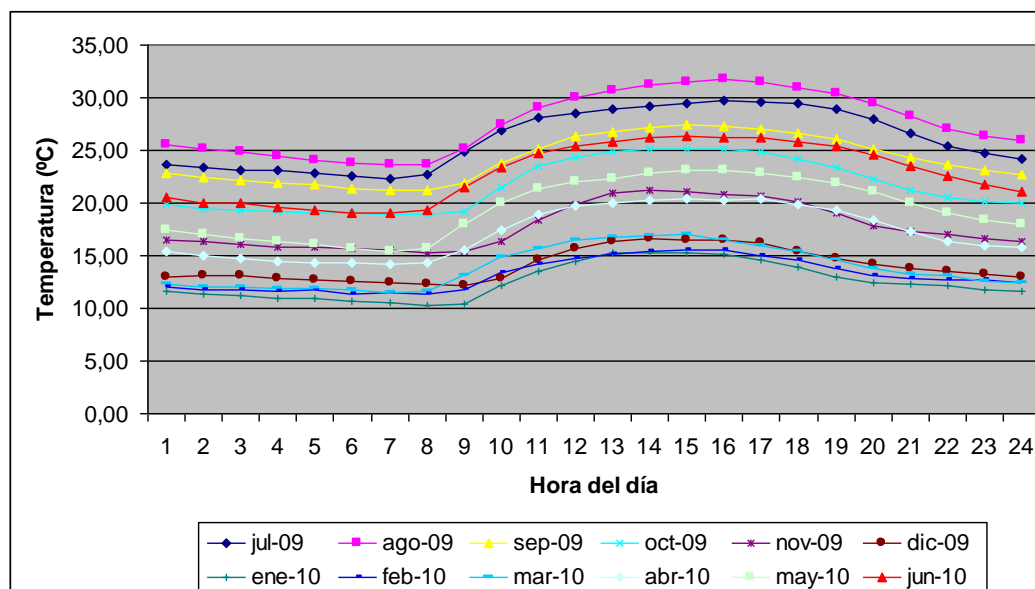


Figura 4. Variación de las temperaturas medias mensuales a lo largo del día

En la Figura 5 se muestra la variación de la media de la radiación solar (W/m^2) en el exterior del invernadero a lo largo del día para cada uno de los meses estudiados.

En la Figura 6 se muestra la variación de la media de los esfuerzos (N) en el cable dintel del invernadero a lo largo del día para cada uno de los meses analizados.

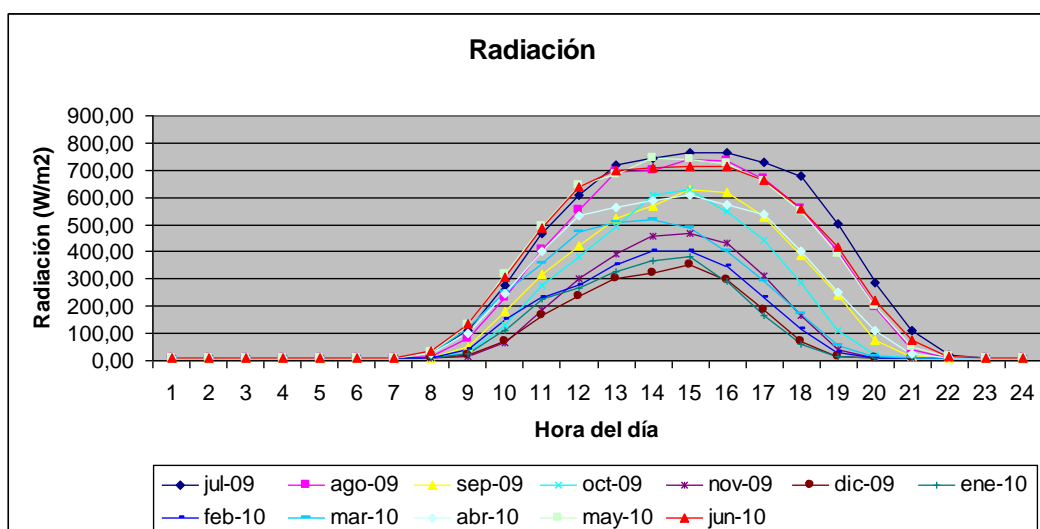


Figura 5. Variación de la radiación media mensual a lo largo del día

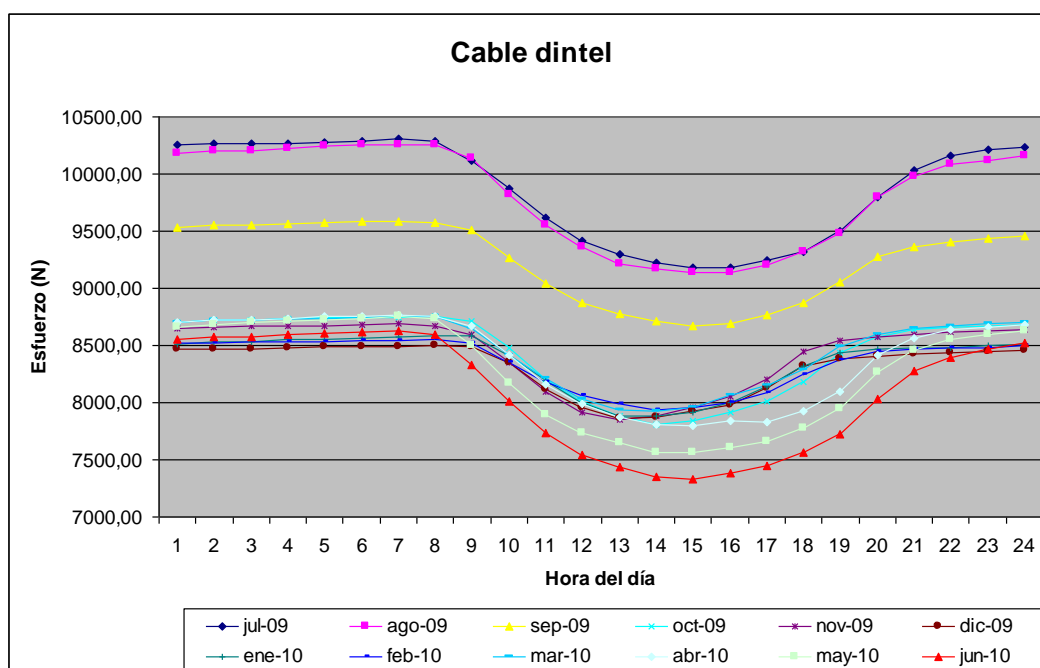


Figura 6. Variación de la media mensual de los esfuerzos en el cable dintel del invernadero a lo largo del día

En la Figura 3 se puede observar como a partir de septiembre de 2009 se produce una disminución de los esfuerzos, que se puede asociar a un destensado de los cables, bien por afloje de los amarres o porque se ha producido asiento de los pilares a partir del primer periodo de riego del cultivo, ya que se plantó tomate en septiembre de 2009 y hasta entonces no había habido cultivo, ni se había regado. Si no se hubiera producido este destensado de los cables los esfuerzos presentarían un valor medio mayor los meses de menor temperatura y viceversa, ya que se ha observado la clara correlación del valor de los esfuerzos con la radiación solar y la temperatura del aire (obsérvese en la Figura 6 como disminuye el esfuerzo en el cable dintel en las horas de mayor radiación solar y temperatura como se observa en las Figuras 4 y 5), y en menor medida con la velocidad del viento. En este sentido, para observar cual de los parámetros ambientales explica mejor el valor de los esfuerzos registrados en cada elemento

estructural, se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson para las variables analizadas para cada uno de los meses estudiados (esfuerzos, temperatura, radiación, velocidad del viento y dirección del viento). En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los citados coeficientes de correlación para los meses de Julio y Octubre de 2009, y Febrero y Mayo de 2010. En estas cuatro Tablas la notación de las variables es la siguiente:

T (°C): Temperatura del aire en el exterior del invernadero.

V (km/h): Velocidad del viento en el exterior del invernadero.

Dir. (°): Dirección del viento en el exterior del invernadero.

Rad. (W/m²): Radiación solar en el exterior del invernadero.

Dintel (N): Esfuerzo en N en el cable Dintel analizado del invernadero.

Correa C (N): Esfuerzo en N en la Correa Cenital analizado del invernadero.

Correa I (N): Esfuerzo en N en la Correa Intermedia analizado del invernadero.

Amagado (N): Esfuerzo en N en el cable Amagado analizado del invernadero.

Directo (N): Esfuerzo en N en el cable Directo analizado del invernadero.

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 todos los coeficientes de correlación que se muestran son significativos con un nivel de significación del 0,01.

Tabla 1. Correlaciones de Pearson de los parámetros para el mes de Julio 2009

	V	Dir.	Rad.	Dintel	Correa C	Correa I	Amagado	Directo
T	0,559	0,083	0,800	-0,881	-0,867	-0,884	-0,893	-0,898
V		-0,084	0,569	-0,468	-0,454	-0,472	-0,499	-0,479
Dir.			0,108	-0,093	-0,076	-0,080	-0,068	-0,079
Rad.				-0,961	-0,966	-0,968	-0,938	-0,961
Dintel					0,988	0,995	0,967	0,992
Correa C						0,994	0,959	0,992
Correa I							0,966	0,995
Amagado								0,971

Tabla 2. Correlaciones de Pearson de los parámetros para el mes de Octubre 2009

	V	Dir.	Rad.	Dintel	Correa C	Correa I	Amagado	Directo
T	0,382	0,135	0,769	-0,875	-0,517	-0,705	-0,205	-0,746
V		-0,051	0,480	-0,436	-0,422	-0,450	-0,334	-0,478
Dir.			0,165	-0,177	-0,079	-0,109	0,004	-0,117
Rad.				-0,934	-0,781	-0,890	-0,476	-0,897
Dintel					0,769	0,906	0,443	0,928
Correa C						0,946	0,890	0,929
Correa I							0,736	0,989
Amagado								0,706

Tabla 3. Correlaciones de Pearson de los parámetros para el mes de Febrero 2010

	V	Dir.	Rad.	Dintel	Correa C	Correa I	Amagado	Directo
T	0,469	0,112	0,533	-0,765	-0,752	-0,658	-0,137	-0,828
V		0,077	0,303	-0,374	-0,369	-0,128	-0,038	-0,433
Dir.			-0,037	-0,017	0,017	0,069	0,085	-0,022
Rad.				-0,866	-0,871	-0,768	-0,479	-0,773
Dintel					0,978	0,891	0,524	0,907
Correa C						0,888	0,504	0,900
Correa I							0,510	0,799
Amagado								0,183

Tabla 4. Correlaciones de Pearson de los parámetros para el mes de Mayo 2010

	V	Dir.	Rad.	Dintel	Correa C	Correa I	Amagado	Directo
T	0,379	-0,158	0,699	-0,832	-0,799	-0,826	-0,811	-0,897
V		0,031	0,485	-0,427	-0,405	-0,392	-0,478	-0,395
Dir.			-0,020	0,030	0,061	0,059	0,004	0,096
Rad.				-0,936	-0,940	-0,927	-0,879	-0,892
Dintel					0,979	0,982	0,944	0,974
Correa C						0,989	0,897	0,959
Correa I							0,905	0,974
Amagado								0,895

De los valores calculados de los coeficientes de correlación de Pearson (Tablas 1, 2, 3 y 4) se observa que dichos coeficientes de correlación entre los esfuerzos en cada uno de los cinco cables estudiados y los parámetros climáticos (temperatura, radiación solar y velocidad de viento) son negativos, lo que indica que al aumentar los parámetros climáticos analizados disminuyen los esfuerzos. Sin embargo, los coeficientes de correlación entre los esfuerzos de los diferentes cables estudiados son positivos, lo cual indica que al aumentar el esfuerzo en un cable también aumenta en los otros. Por otra parte, el parámetro climático que más se correlaciona con los esfuerzos es la radiación solar, seguido posteriormente por la temperatura. Las variables velocidad y dirección del viento se encuentran menos correlacionadas con los esfuerzos, sobre todo esta última. Del análisis de los coeficientes de correlación se observa como los meses de mayor temperatura (Julio y Mayo) existe una mayor correlación entre la radiación solar y la temperatura con los esfuerzos en general, disminuyendo en los meses menos cálidos (Octubre y Febrero). Asimismo, es de destacar, que el coeficiente de correlación entre la radiación solar y la temperatura con el esfuerzo en el cable Amagado experimenta una disminución drástica al pasar del periodo cálido al frío, así para la radiación y el esfuerzo en el amagado el coeficiente pasa de -0,938 en Julio a -0,476 en Octubre o a -0,479 en

Febrero, volviendo a subir en Mayo (-0,879), siguiendo la misma tendencia entre la temperatura y este esfuerzo, así el coeficiente pasa de -0,893 en Julio a -0,205 en Octubre o a -0,137 en Febrero, volviendo a subir en Mayo (-0,811), aunque para la temperatura la disminución es más drástica para los meses menos calidos. Estos resultados obtenidos para el cable Amagado particularmente, se explican debido a que dicho cable se encuentra en el interior del invernadero, y por lo tanto se encuentra menos correlacionado el valor del esfuerzo registrado en el mismo, los meses menos calidos, con los parámetros climáticos externos, radiación solar y temperatura en el exterior del invernadero, mientras que se explica mejor el valor del esfuerzo durante los meses más cálidos, con coeficientes mayores. Asimismo, el esfuerzo en el cable Amagado es el que presenta menor correlación con los de los otros cuatro cables analizados, siendo el mes de Febrero en el que los coeficientes son menores, así en este mes, el coeficiente de correlación del esfuerzo en el cable Amagado con el del cable Directo es de 0,183, con el de la Correa Cenital 0,504, con el de la Correa Intermedia 0,510 y con el del cable Dintel 0,524. Sin embargo, en los meses más cálidos los coeficientes de correlación del esfuerzo del cable Amagado con los de los otros cuatro cables son bastante mayores, siendo máximos los del mes de Julio, 0,959 para la correa Cenital, 0,966 para la correa Intermedia, 0,967 para el cable Dintel y 0,971 para el cable Directo.

Por otra parte, la correlación de los esfuerzos con la dirección y velocidad del viento es mucho menor que con la radiación solar y la temperatura, lo que indica que las dos primeras variables son menos determinantes en los valores de los esfuerzos que soportan los elementos estructurales analizados, lo cual puede ser debido a que la conformación estructural en forma de malla de la cubierta del invernadero tipo *raspa* y *amagado*, junto con su flexibilidad y baja pendiente de los faldones de cubierta, hace que se provoque un reparto de la carga del viento más o menos homogéneo a través de la malla.

Conclusiones

Se han analizado los esfuerzos en cinco elementos estructurales tipo cable en un invernadero *raspa* y *amagado* durante un periodo de un año, mediante un equipo de adquisición de esfuerzos constituido por cinco células de carga, concluyéndose que:

- Los cables analizados se han destensado a los pocos meses de entrar en servicio el invernadero por asiento del suelo tras el inicio de los primeros riegos del cultivo o por afloje de los amarres.
- Existe una gran correlación entre los esfuerzos registrados con la radiación solar incidente sobre el invernadero y con la temperatura, siendo menor las correlaciones de los esfuerzos con la dirección y velocidad del viento.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, así como a los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), por financiar el presente trabajo mediante proyecto de investigación AGL2006-11186. Asimismo, también expresan su agradecimiento a la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP por permitir la construcción del invernadero experimental en la Finca Experimental de la Universidad de Almería (UAL).

Bibliografía

- Fernández, C., Pérez, J.J. 2004. Caracterización de los invernaderos de la provincia de Almería. Cajamar, Almería, 20 pp.
- Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Salinas-Andújar, J.A., Martín-Gil, J., Pérez-Parra, J.J., Rubio-Gámez, M.C., Sánchez-Hermosilla, J., Callejón-Ferre, A.J., López-Díaz, G. 2008a. Análisis de riesgos laborales de los procedimientos constructivos de los invernaderos Tipo Almería. 6th International Conference on Occupational Risk Prevention. 14-16 mayo, La Coruña. España.
- Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., López-Díaz, G., Callejón-Ferre, A.J., Vázquez-Cabrera, J. 2008b. Approach to the determination of structural loads models in greenhouses *Type Almería*. International Conference on Agricultural Engineering (AgEng2008), Agricultural & Biosystems Engineering for a sustainable World. 23-25 junio, Knossos, Hersonissos, Crete. Greece.
- Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Callejón-Ferre, A.J., Vázquez-Cabrera, F.J. 2011a. Preventive activity in the greenhouse-construction industry of south-eastern Spain. *Safety Sci.* 49(2), 345-354.
- Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, A.J., Carreño-Ortega, A., Sánchez-Hermosilla, J. 2011b. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. *Build. Environ.* 46, 1725-1734.
- Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, A.J., Carreño-Ortega, A., Vázquez-Cabrera F.J. 2011c. Propuesta de índices directos para determinar el estrés térmico de los trabajadores de construcción de invernaderos de Almería (España). VI Congreso Ibérico de AgroIngeniería. 5-7 septiembre, Évora, Portugal.
- Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Vázquez-Cabrera, F.J., Callejón-Ferre, A.J. 2012. Accidents in the Greenhouse-Construction Industry of SE Spain. *Appl. Ergon.* 43, 69-80.
- Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, A.J., Pérez-García, M., Sánchez-Hermosilla, J. 2013. Evaluación de la producción de cultivo de tomate sometido a sombreado selectivo exterior en invernadero tipo "raspa y amagado". VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Agrícolas. 26-29 agosto, Madrid, España.
- Pérez, F., Manzano, F., Ayuso, J., Caballero, A., de la Cruz, J. L., López, M. 1992. Invernadero tipo parral en la provincia de Almería. Tipología, cálculo constructivo y optimización. FIAPA, Almería.
- Ureña-Sánchez, R., Callejón-Ferre, A., Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A. 2012. Greenhouse tomato production with electricity generation by roof-mounted flexible solar panels. *Sci. Agric.* 69(4), 233-239.
- Valera, D. L., Peña, A. A., Pérez, J., Álvarez, A. J., Molina, F. 2003. Tensoestructuras como sistemas de protección de cultivos: el invernadero tipo "Almería". En: Control climático en invernaderos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, Almería. España.

C02 - Análisis estructural de pórticos simples de acero a dos aguas en situación de incendio.

Ferrán Gozávez, J.J.¹; Ferrer Gisbert, C.; Redón Santafé, M.; Sánchez Romero, F.J.; Torregrosa Soler, J.B.,

¹ Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Camino de Vera s/n 46022 Valencia. jjferran@agf.upv.es

Resumen

Los métodos de análisis en situación de incendio consisten en el cálculo simplificado de barras aisladas, análisis avanzado y la realización de ensayos en piezas y estructuras (elevado coste). El primero conduce a resultados conservadores cuando se aplica a estructuras hiperestáticas como los pórticos de nudos rígidos. Se desconoce la forma de fallo lo que repercute en la seguridad de las personas y en una posible extensión del fuego. Los métodos avanzados se efectúan con programas especializados de elementos finitos de menor alcance en el ámbito profesional e incluso científico. Existe un gran número de parámetros de cálculo, algunos difíciles de cuantificar y precisar su influencia. Se formulan hipótesis simplificadoras para poder abordar el cálculo. En este trabajo se propone una metodología de cálculo avanzado con un programa comercial de cálculo estructural (SAP2000) para estudiar el comportamiento a fuego de un pórtico simple a dos aguas, según la normativa española (Código Técnico de la Edificación e Instrucción de Acero Estructural). Se establece una metodología de cálculo no lineal del material (plástico) y geométrico (inestabilidad y grandes desplazamientos), utilizando nuevas instrucciones del programa. Se valida y compara con los resultados de otras publicaciones científicas. Se analizan los diferentes tipos de colapso y su influencia en el tiempo de resistencia a fuego y en la seguridad de las personas y extensión del fuego. Se efectúan estudios paramétricos que consisten en el análisis de la influencia de la rigidez de la base, protección de la estructura y cargas actuantes.

Palabras clave: Seguridad a fuego, análisis por elementos finitos, naves agroindustriales, cálculo plástico

Structural analysis of single pitched-roof steel portal frame in fire.

Abstract

The procedures of structural fire engineering design can be divided into the simplified analysis single members, advanced structural analysis and model-scale structures of fire testing (high cost). The first method leads highly conservative results in the case of to apply to hyperstatic structures such as rigid portal frames. Further the failure mechanism is unknown, anything that can affect the life safety and the chance of the spread of fire. The advanced methods were developed with finite element programs closely specialized, with a small extent in the professional field even scientific circles. A variety of influencing factors could therefore be considered within the parametric studies: some are difficult to assess and to specify its influence. There is a need to stablish simplifying hypotheses according the reality to frame and to be enabling the analysis. This work proposes an advanced calculation methodology with a commercial structural program SAP2000 for the study the single pitched-roof portal frame behaviour in fire for an agro-industrial building according the Spanish Specifications (CTE and EAE). A non-linear plastic and geometric (buckling and large-displacements) calculation method has been developed, using recent program features. The results are validated and compared with benchmarks. The varying failure mechanisms and their influence are studied in fire time resistance and persons and goods safety. Parametric analyses were conducted in this study, load level, base rotational stiffness and fire protection.

Keywords: Fire safety, finite element analysis, agro-industrial buildings, plastic frame analysis

Introducción

La verificación de la capacidad portante en caso de incendio se realiza habitualmente mediante el análisis simplificado de barras aisladas. Se detalla en España en el Art. 46 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE). Equivale al Artículo 4.2 de la Norma UNE-EN 1993-1-2 (Eurocódigo 3), excepto en la comprobación de elementos sometidos a compresión y flexión. Se verifica que el efecto de la acción de incendio función del fuego de cálculo adoptado no debe ser mayor a la resistencia del elemento sometido a una distribución de temperaturas en cualquier instante del proceso de incendio.

Simplificadamente, las solicitaciones se toman a temperatura ambiente (20º) sin acciones térmicas (dilataciones, gradientes de temperatura). Se aplican los coeficientes parciales de seguridad y las combinaciones en situación accidental del Código Técnico de la Edificación, Seguridad Estructural.

En el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI) se establecen los requisitos de estabilidad al fuego de los elementos estructurales de un edificio de carácter industrial. Salvo naves aisladas de cubierta ligera, se exige un tiempo mínimo de resistencia al fuego, siempre que su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios próximos.

Conduce a resultados conservadores cuando se aplica a estructuras hiperestáticas. Se desconoce la forma de fallo lo que repercute en la seguridad de las personas y en una posible extensión del fuego.

Los modelos de fuego avanzado incluyen métodos para evaluar la respuesta térmica (acciones térmicas y propiedades térmicas del material) y mecánica (cálculo estructural no lineal del material y no lineal geométrico que incluye imperfecciones geométricas y acciones térmicas).

En el análisis científico se usan diversos tipos de programas de elementos finitos: los elaborados específicamente para el cálculo a fuego de uso exclusivo en investigación; programas comerciales de propósito general (Abaqus, Ansys, Diana, etc.) que requieren de un importante esfuerzo inicial para definir los parámetros de cálculo pero ofrecen numerosas posibilidades de pre y post-proceso; y programas comerciales para el cálculo en situación de incendio que surgen de grupos de investigación especializados en fuego y se consolidan tras la realización de sucesivas tesis.

El cálculo se caracteriza por la concurrencia de un gran número de variables, dependientes del propio fenómeno del fuego y otras de los métodos de cálculo no lineal adoptados. Los tiempos de ejecución de cálculo son largos y las necesidades de almacenamiento de datos y resultados son elevadas. Suele ser necesario formular hipótesis simplificativas y proceder a la validación del modelo. En el caso de estructuras de naves, la validación mediante ensayos es difícil debido a la escasez de pruebas experimentales, sólo pueden reproducirse unas condiciones muy concretas y surgen notables diferencias entre el desarrollo de un fuego real (ventilación, carga térmica, localización, etc.) frente a los modelos más o menos ideales que se utilizan en el cálculo a fuego. Es habitual que la validación se realice comparativamente con los resultados de trabajos de cierta difusión en la comunidad científica.

Justificación

Los objetivos de este trabajo son:

- Proponer una metodología de cálculo avanzado a fuego utilizando un programa comercial de cálculo estructural (SAP2000). Es un programa especializado en cálculo sísmico de estructuras de barras y losas, que no incluye rutinas de cálculo a fuego. Instrucciones de reciente incorporación al programa pueden posibilitar la consecución satisfactoria de un cálculo avanzado a fuego.
- Analizar la evolución y los modos de colapso de un pórtico a dos aguas y su influencia en la seguridad de las personas y equipos de extinción y en previsión de una posible extensión del fuego.
- Definir y obtener la temperatura crítica a la que ocurre el colapso estructural.
- Análisis de la influencia de los parámetros más relevantes: tipo y rigidez de la base del pórtico, protección de la estructura y magnitud de las cargas.

Antecedentes

Debido a que las exigencias establecidas en el marco normativo de cada país que deben cumplir los edificios industriales en relación al fuego difieren de un caso a otro, la difusión de los trabajos es limitada y supeditada a la normativa de referencia. En el Reino Unido, Australia y Nueva Zelanda, se ha analizado con mayor profundidad el comportamiento del pórtico a dos aguas frente al fuego.

En el Reino Unido se utiliza de forma tradicional y habitual el cálculo plástico para el dimensionado de pórticos a dos aguas generalmente de bases articuladas (disposición de dos o cuatro pernos en una basa sin cartelas), razón por la que el cálculo estructural a fuego es más accesible. La publicación SCI P313 aborda el análisis de diferentes estructuras aporticadas, de uno o varios vanos, con vigas de alma llena o en celosía, en situación de incendio que delimitan un establecimiento o un sector de incendio.

La normativa del Reino Unido (SI 2000 No 2531) no requiere que la estructura verifique un tiempo mínimo de resistencia a fuego. Para evitar la extensión del fuego, la separación mínima a edificios colindantes es de 15 m. En caso contrario es necesario evitar el colapso hacia el exterior del recinto. El SCI P313 recomienda dimensionar la base y la cimentación para soportar un momento de vuelco (OTM: *overturning moment*) para evitar el colapso hacia el exterior de las paredes. Se deducen expresiones sencillas muy utilizadas aunque el método ha sido cuestionado en estudios posteriores.

Las investigaciones científicas de los últimos 15 años analizan entre 1 a 3 pórticos de diferente geometría. Las variables principales estudiadas son la influencia de la rigidez en la base del pilar, diversos escenarios a fuego y magnitud de las cargas. El análisis puede detenerse al inicio de la pérdida de estabilidad de los dinteles o, si existe, al finalizar la fase de re-estabilización. Se establecen modelos planos (2D), modelos espaciales (3D) que incluyen las correas de cubierta y otros completos que abarcan varios vanos. En ocasiones se implementa un fuego natural o un fuego exterior.

Wong (2001) realizó tres ensayos reales a fuego de un pórtico a dos aguas de 6 m de luz con perfiles doble T y bases articuladas. Desarrolló cálculos estáticos no lineales, elástico-plásticos, en dos dimensiones. Determinó la temperatura crítica hasta el inicio de la pérdida de estabilidad de los dinteles. Wong, Burgess y Plank (2000) mediante

cálculo plástico, obtuvieron sencillas expresiones para predecir la temperatura crítica de colapso.

Souza, Creus y Franssen (2002) analizaron la influencia de la inestabilidad lateral a fuego de una estructura triangulada de cubierta. La compresión en las correas originada por las dilataciones provoca su pandeo. El método de análisis estático no lineal no permite abordar el comportamiento post-pandeo.

Vassart *et al.* (2004) llevaron a cabo análisis 2D y 3D no lineales, elastoplásticos, utilizando un método implícito dinámico para predecir el comportamiento de re-estabilización de los dinteles de un pórtico doble a dos aguas y la contribución de las correas. Dos equipos de trabajo que utilizaron el programa Abaqus, otro grupo empleó el programa Ansys y el último el programa Safir. Los resultados mostraron la misma pauta de evolución de los desplazamientos en cumbrera y esquina del pórtico y axil del dintel, aunque las magnitudes presentaban cierta dispersión.

Bong (2005) investigó con el programa Safir el comportamiento 2D y 3D de pórticos con diversas localizaciones y severidad del incendio, sin y con fase de decaimiento, rigidez de la base, restricción aportada por el muro hastial, arriostramiento lateral de pilares, revestimiento con hormigón de pilares y conexión pared-pilares.

Song (2008) y Song *et al.* (2009) continuaron el trabajo de Wong con el programa Vulcan con un cálculo cuasi-estático-dinámico para predecir y analizar la re-estabilización del dintel de un pórtico simple. Para mejorar la eficiencia, el cálculo dinámico se activa únicamente al detectar valores singulares en la diagonal de la matriz de rigidez.

Rahman *et al.* (2009) (2011) ampliaron los estudios paramétricos utilizando el programa Abaqus en un pórtico simple, profundizando en el análisis de los momentos de vuelco en la base de pilares.

Moss *et al.* (2009), en base a la normativa neozelandesa y los procedimientos constructivos comunes en ese país, realizan un exhaustivo análisis 3D para determinar el modo de colapso y tiempo de resistencia al fuego de pórticos a dos aguas.

El-Heweity (2012) realizó un estudio numérico con Safir de un pórtico a dos aguas con perfil tubular cuadrado que incluía análisis térmico de la sección. Planteó varios escenarios y pendientes del dintel.

Pyl *et al.* (2012) llevaron a cabo un ensayo real a escala a fuego de un pórtico con perfiles delgados de clase 4 y obtuvo buen ajuste de resultados al realizar una simulación con el programa Safir.

Gentili (2013) con el programa Diana, analizó el colapso de un pórtico doble a dos aguas. El desarrollo del incendio se obtuvo a partir de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).

Benlakehal *et al.* (2013) utilizaron el programa Ansys según el CTICM francés y el EC-3 para obtener la temperatura crítica de pórticos simples planos hasta el instante de pérdida de estabilidad del dintel.

Material y Métodos

Se utiliza el programa SAP2000 modelizando los pórticos como estructuras de barras subdividiendo el pilar y dintel en 20 elementos. Si bien el programa no permite definir implícitamente propiedades del material dependientes de la temperatura, se llevó a cabo una rutina que permitía efectuarlo.

La plasticidad se considera de forma distinta a otros programas que incluyen en sus librerías de elementos barras con comportamiento plástico. En SAP2000 se definen secciones plásticas (*hinges*) o rótulas en flexión. Esto exige definir puntos muy próximos de posible plastificación, ya a que a diferencia del comportamiento a temperatura ambiente, la plastificación se extiende a lo largo de los elementos a fuego, al reducirse considerablemente el límite elástico del acero. La posición de las rótulas se modifica con la temperatura, incluso puede revertir, y la longitud plastificada es bastante superior respecto a la temperatura ambiente. Por ello es necesario definir un número alto y suficiente de posiciones de posibles rótulas, bastante superior al cálculo plástico a temperatura ambiente.

Se comprobó que es suficiente el tipo de rótula a flexión, incluso a altas temperaturas, respecto a una rótula de interacción axil-flector, lo que supone una importante reducción del tiempo de cálculo. La relación momento-rotación se define mediante 4 puntos (Figura 1b) unidos por rectas según se define en el FEMA-356 (Federal Emergency Management Agency 5.5.2.2.2 Nonlinear Static Procedure).

La no linealidad geométrica se activa mediante un cálculo P-Delta y p-delta con grandes desplazamientos. Las imperfecciones globales se representan mediante una acción horizontal en esquina. Se comprobó que definir imperfecciones locales en barra era irrelevante.

Para analizar la re-estabilización en la posición invertida de los dinteles se establece un análisis no lineal en el tiempo (implícitamente dinámico) mediante el método de la integración directa. Se realiza previamente un cálculo de los modos de vibración para estimar el número de escalones de carga, que osciló entre 1500 a 5000 según el caso. La carga se aplicó con una ley senoidal y el valor máximo se mantuvo fijo un 50% del tiempo de carga. El amortiguamiento se ha definido como combinación lineal de las matrices de masa y rigidez. Su valor se aumentó a una magnitud por encima del valor supercrítico (entre 0.15 y 0.25) para eliminar la posibilidad de vibraciones residuales.

En primer lugar se aplicó la carga térmica dependiente de la temperatura del acero. A continuación se añade la carga vertical en cubierta cuyo valor es constante en todo el proceso térmico. La acción que representa la imperfección geométrica favorece el desarrollo de colapsos de tipo asimétrico.

El programa considera las propiedades mecánicas reales del perfil que incluyen el acuerdo ala-alma (*fillet*). Los acartelamientos consisten en barras de inercia variable, no siendo necesario discretizarlas en segmentos de canto constante. No se reduce la temperatura en esta zona respecto al resto del dintel.

En las investigaciones citadas suele utilizarse la ley tensión-deformación del EC-3, coincidente con la EAE (Figura 1a). Se caracteriza por un tramo elíptico entre la tensión de proporcionalidad y la del límite elástico efectivo a la deformación del 2% (0.5, 1 y 1.5% según la normativa inglesa) y rama decreciente entre 15 y 20% (aunque es

habitual no limitar la resistencia con la deformación plástica). En este trabajo se comparan los resultados obtenidos con la curva anterior aproximando el tramo elíptico en 4 tramos rectos, con el diagrama simplificado (Figura 1b) en el que no es necesario definir el punto del límite de proporcionalidad (B), disminuyendo notablemente los tiempos de cálculo.

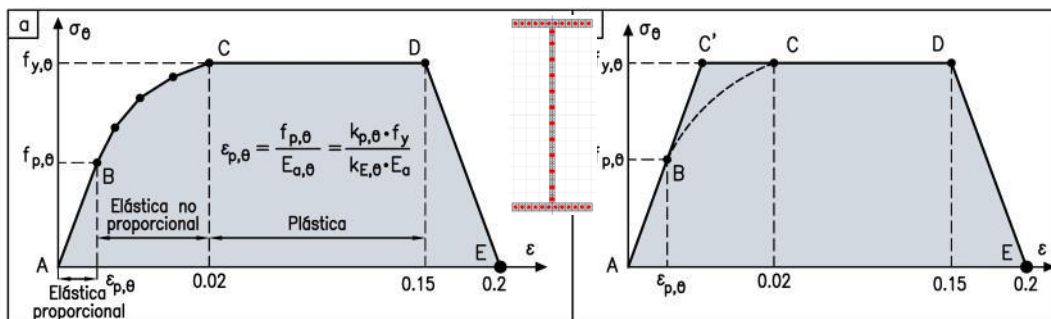


Figura 1. a) Curva tensión deformación del acero a elevadas temperaturas. b) Diagrama simplificado.

El programa dispone de un tipo de rótula avanzado. Se modeliza la sección y efectúa un mallado (*fiber hinge*). El programa calcula la interacción P-M3 y las curvas Momento-Curvatura mediante la ley tensión-deformación de la Figura 1a. Es necesario precisar la longitud de la rótula y su posición.

En el cálculo, la temperatura del pórtico se realiza en incrementos de 5 grados (valor máximo indicado por la EAE) hasta que el programa es incapaz de procesarlo (se interrumpe u ofrece resultados incoherentes). En todo caso, el modelo está preparado para realizar incrementos de 1 grado si se desea precisar mejor puntos singulares. Entre 60 y 120 puntos se utilizan para la confección de las curvas.

Los valores del módulo de elasticidad, límite elástico efectivo (Figura 2a), coeficiente de dilatación y calor específico se obtienen de las leyes definidas en el Art. 45.1 de la EAE. No se considera el endurecimiento por deformación del acero. La fluencia está incluida de forma implícita.

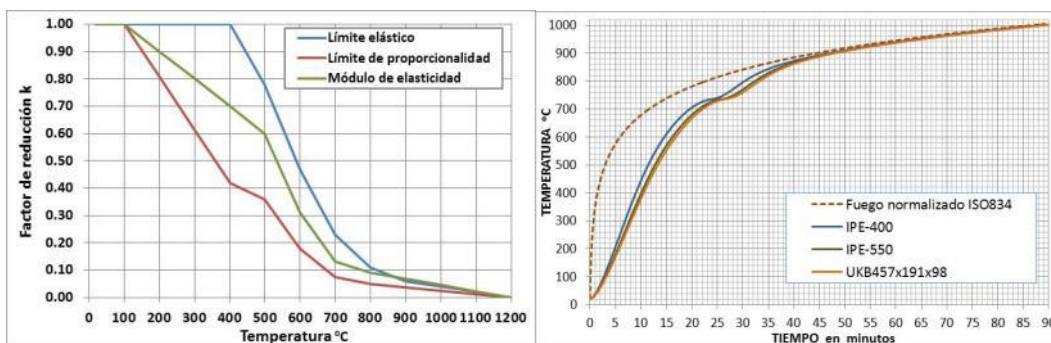


Figura 2. a) Factor de reducción del límite elástico, de proporcionalidad y módulo de elasticidad. b) Curva de temperatura de fuego normalizado ISO834 y de los perfiles sin protección utilizados.

El modelo de fuego es la curva normalizada tiempo-temperatura ISO834. No representa un fuego real, pero se utiliza ampliamente en el cálculo. Para obtener la temperatura del perfil, se aplica la ecuación en diferencias finitas del Art. 48 de la EAE, para perfiles en doble T sin protección y factor $k_{sh} < 1$.

Las bases de los pilares se modelizan con un elemento enlace de soporte (*link support*) plástico con ciclo de histéresis tipo *Wen* con transición angular entre la recta elástica y la plástica (exponente 20).

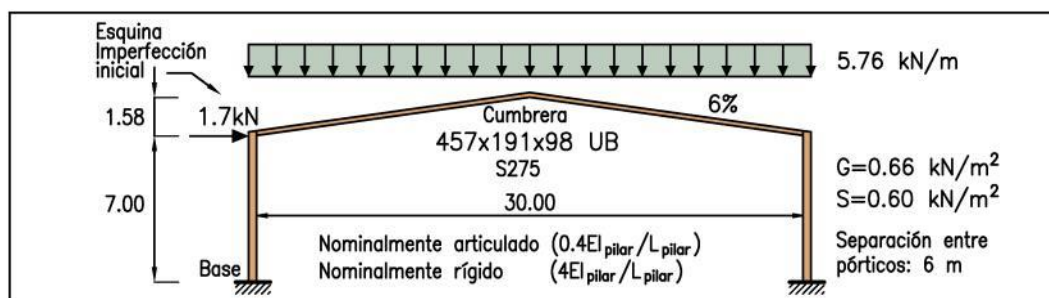


Figura 3. Pórtico a dos aguas analizado por Song (2008).

Para la validación, por una parte, utilizando el programa SAP2000, se realiza un análisis con la rótula de fibras. Es un cálculo complejo, exige un elevado tiempo de cálculo y no resulta operativo en el ámbito de proyectos. Se pretende confirmar que con la rótula plástica simple y la curva de la Figura 1b, se obtienen resultados aceptables, lo que puede hacer posible abordar estructuras más complejas.

Por otra parte se compara con análisis de investigaciones recientes notorias. Se selecciona el análisis efectuado por Song (2008) con el programa Vulcan para dos tipos de rigidez de la base (Figura 3).

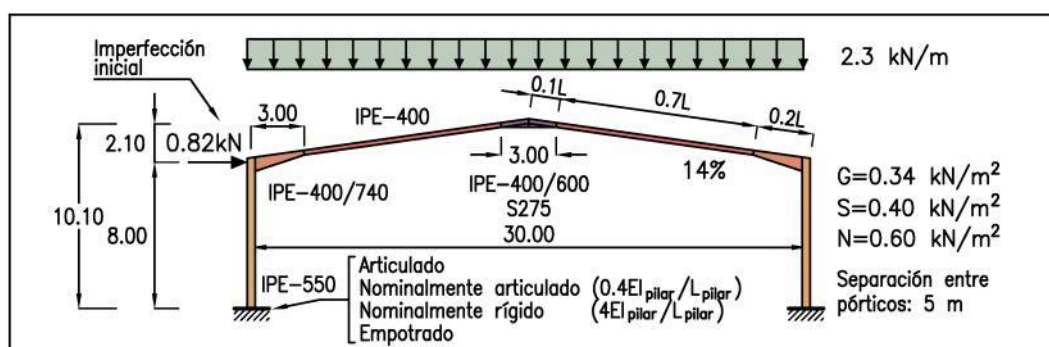


Figura 4. Pórtico a dos aguas objeto del trabajo.

El pórtico analizado consiste en la estructura de la Figura 4, con cartabones en los extremos del dintel. De la aplicación de las combinaciones de carga del CTE-SE, se obtiene una carga uniforme en el dintel de 2.3 kN/m. La carga puntual lateral de 0.82 kN representa las imperfecciones geométricas globales. Se ensayan cuatro tipos de bases de pilares, según su rigidez.

Resultados y Discusión

No procede realizar un análisis estadístico ya que los resultados son únicos y provienen de un cálculo determinista en las variables que intervienen.

Para la validación, en primer lugar, se comprueba en la gráfica de la flecha vertical (Figura 5), que con las rótulas de fibras plásticas (*fiber hinges*) o la rótula simple a flexión, se obtienen las mismas temperaturas críticas. Las rótulas de fibras son algo más dúctiles (mayor flecha) a la temperatura próxima al inicio de la desestabilización del dintel. Carece de interés, pues la flecha es sensible a los parámetros dinámicos que se

definen para superar la fase de pérdida de estabilidad (tipo y magnitud del coeficiente de amortiguación y masas movilizadas). Respecto al desplome, ambas gráficas son casi coincidentes, y sólo se muestra la curva de la rótula simple en las Figuras 6 y 7.

En segundo lugar, según Song (2008) (2009) con pilares sin protección, el máximo desplome de pilares (inicio de la pérdida de estabilidad del dintel) se alcanza cuando la cumbrera desciende al nivel de la esquina a una temperatura de 561 °C (nominalmente articulado) y 563 °C (nominalmente rígido).

En las Figuras 5, 6 y 7, se aprecia un buen ajuste con las curvas de Song, con igual comportamiento. La desestabilización del dintel ocurre a 569 °C (nom. articulado) y 576 °C (nom. rígido).

Para el caso de pilares protegidos que permanecen a temperatura ambiente, el método implementado en el programa es capaz de obtener la nueva posición estable de cubierta invertida (*snap-through-buckling*). Se aprecia con mayor evidencia en bases nominalmente rígidas (Figura 5b: meseta más horizontal). El dintel comprimido pasa de repente a estar débilmente traccionado (efecto catenaria).

Se comprueba que es satisfactorio el procedimiento de cálculo avanzado en situación de incendio desarrollado con el programa SAP2000 considerando la no linealidad del material y geométrica, grandes desplazamientos y dinámico para obtener el equilibrio en la posición invertida de la cubierta.

Pórtico de estudio

El cálculo a flexocompresión según el método simplificado de la EN 1993:1-2:2005 (Art. 4.2.3.5 del EC-3) dio como resultado una temperatura crítica del dintel de 635° (16 minutos según ISO834).

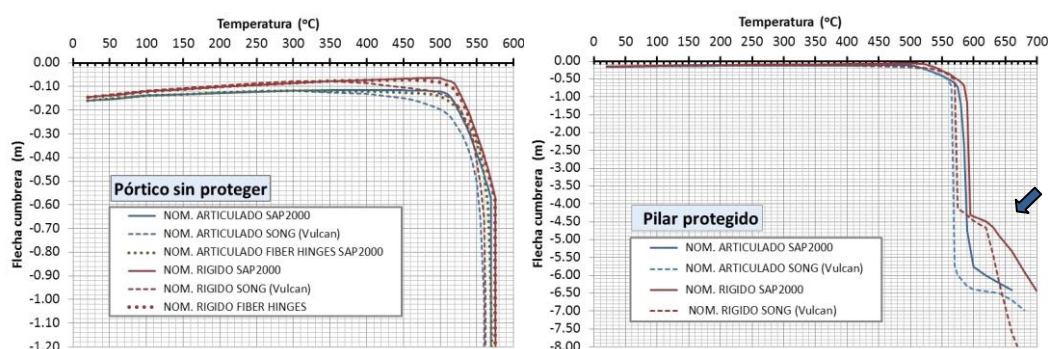


Figura 5. Flecha en cumbrera, según SAP2000 y Song. a) Pórtico sin proteger b) Pilar protegido

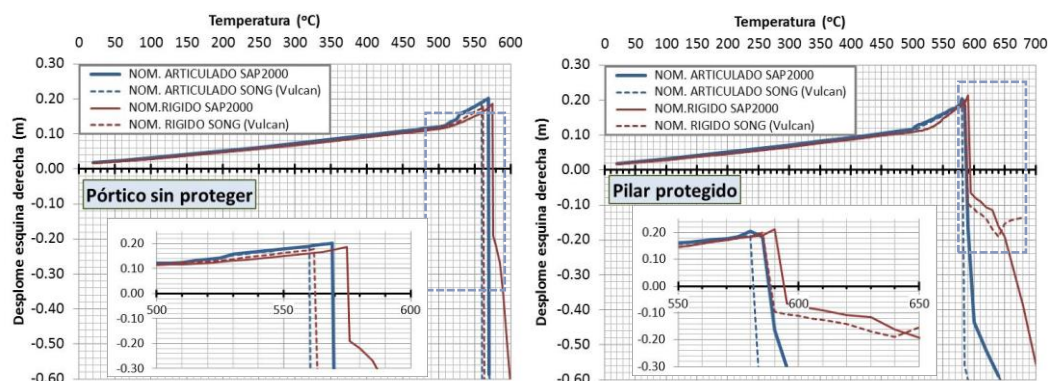


Figura 6. Desplome esquina derecha según SAP2000 y Song. a) Pórtico desprotegido b) Pilar protegido

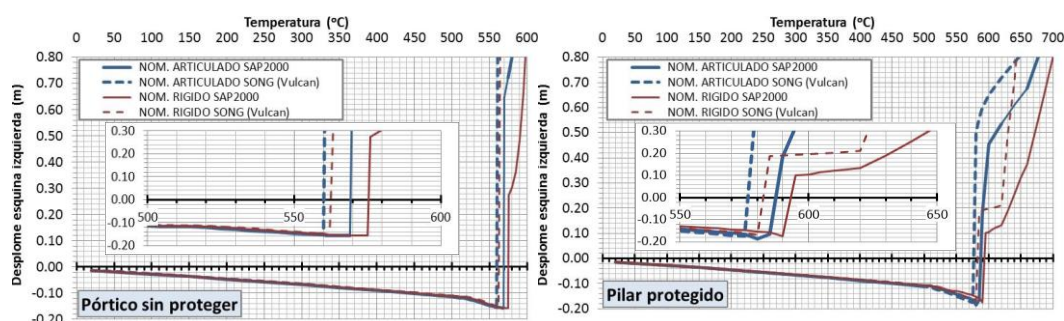


Figura 7. Desplome esquina izquierda según SAP2000 y Song. a) Pórtico desprotegido b) Pilar protegido

En la Figura 8 se representa la secuencia el proceso de formación de rótulas plásticas, pérdida de estabilidad de los dinteles y ruina del pórtico de base empotrada sin proteger. La ruina supone el vuelco hacia el interior de la fachada izquierda, mientras que la derecha se mantiene vertical. Sólo el pórtico articulado (Figura 9) colapsa hacia el exterior a 655° (16.9 minutos), lo cual es indeseable, pues supone un peligro para los equipos de extinción y favorece la propagación del fuego.

En la Tabla 1 se ordenan las temperaturas de formación de rótulas, desestabilización del dintel y cese del cálculo que se obtienen de la Figura 9. Algunos autores adoptan como temperatura crítica la del instante de desestabilización. Si la base tiene cierta rigidez, su valor es 700° (19.5'), superior al cálculo simplificado (635°). Si se protege el pilar con base empotrada, la temperatura crítica alcanza los 775° (28.3'), lo que indica el gran beneficio que se obtiene con estos dos factores.

Otros autores consideran que la ruina ocurre al final del período de re-estabilización (Figura 10, punto A). La temperatura crítica vale 875° (40.5') con pilar protegido de base empotrada y los pilares se mantienen verticales. Las elevadas deformaciones podrían ser inaceptables para los paramentos.

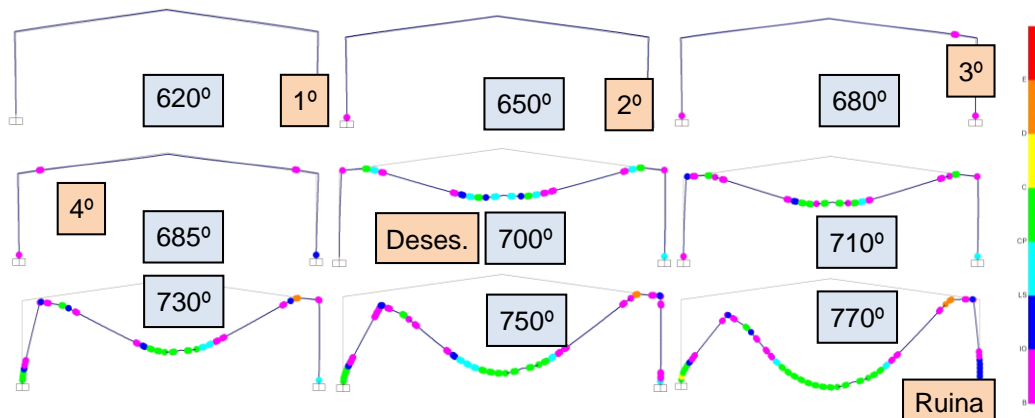


Figura 8. Deformada a escala, posición y evolución de rótulas plásticas del pórtico empotrado sin proteger.

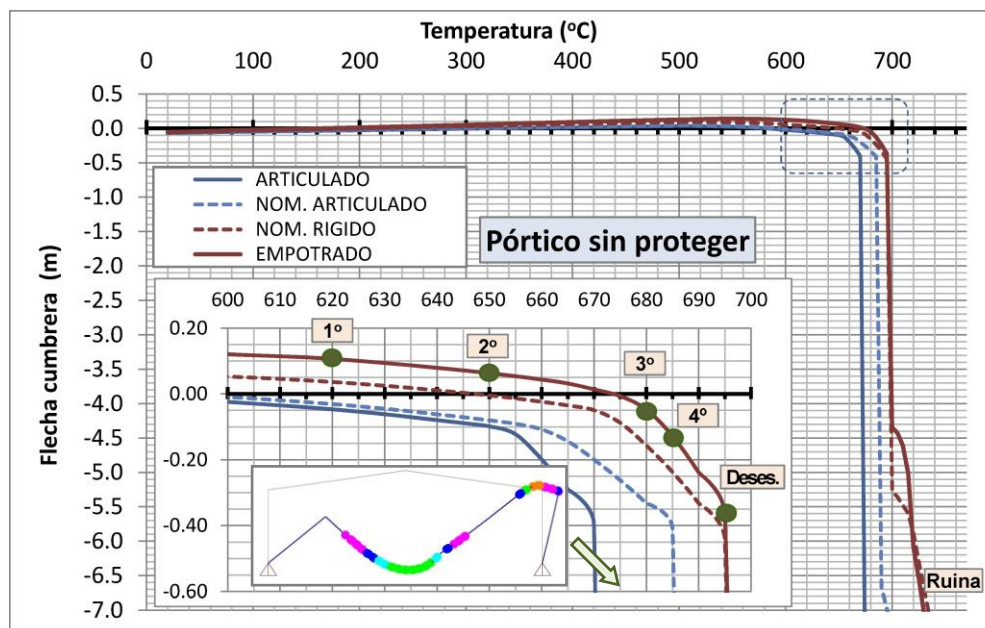


Figura 9. Flecha vertical en cumbre para el pórtico sin proteger y diversas rigideces en la base.

Tabla 1. Temperaturas de formación de rótulas, desestabilización del dintel y fin del cálculo

Bases	Protección	Formación rótula				Desestab. dintel	Fin análisis
		1°	2°	3°	4°		
Articuladas	Sin protección	655				675	675
	Pilar	650				675	675
Nominalmente Articuladas	Sin protección	660	665	745	750	685	755
	Pilar	670	670			700	795
Nominalmente rígidas	Sin protección	675	675	720	720	700	765
	Pilar	755	755			770	870
Empotradas	Sin protección	620	650	680	685	700	770
	Pilar	555	590			775	875
Capacidad	Pilar	565	700	705		730	875

Otro punto importante (Figura 11) consiste en que el flector en la base del pilar (base empotrada y nominalmente rígida) alcanza un valor (678 kNm) muy superior al existente a temperatura ambiente (427 kNm). La base y cimentación no han sido dimensionados para este flector, ni resulta conveniente (elevado coste). Por ello es necesario realizar

un cálculo con capacidad resistente limitada en la base, resultando la temperatura crítica de 730° (22.5') pero la ruina o cese del cálculo no ocurre hasta 875°.

En la Figura 12 se representan los resultados de flecha, desplome esquina derecha y temperaturas para un pórtico con pilar sin proteger y varios factores de carga. Se aprecia que para factores de carga más bajos, las curvas se separan más. Se deduce que un sobredimensionado (menor grado de utilización) podría resultar efectivo, en algún caso, para aumentar la temperatura crítica del pórtico. Según el CTE-SE, la carga en cubierta incluye un quinto de la sobrecarga de nieve por lo que la temperatura crítica depende de esta carga. En situación de incendio, esta circunstancia se interpreta como poco realista.

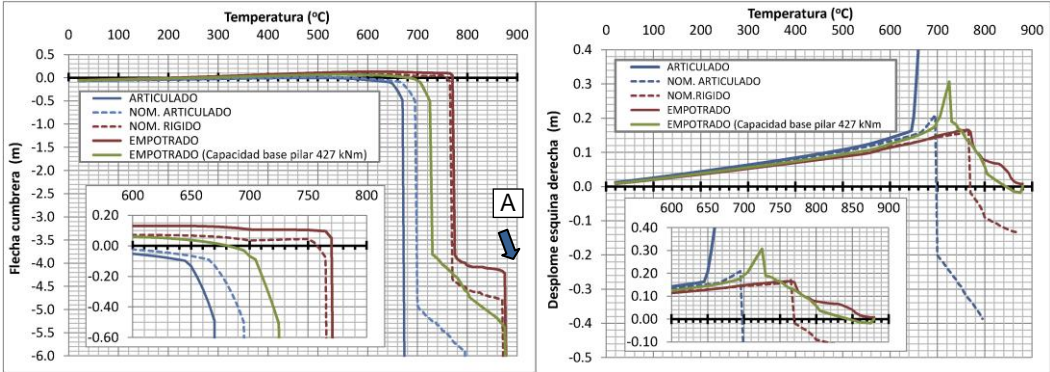


Figura 10. Flecha y desplome esquina derecha del pórtico con pilar protegido.

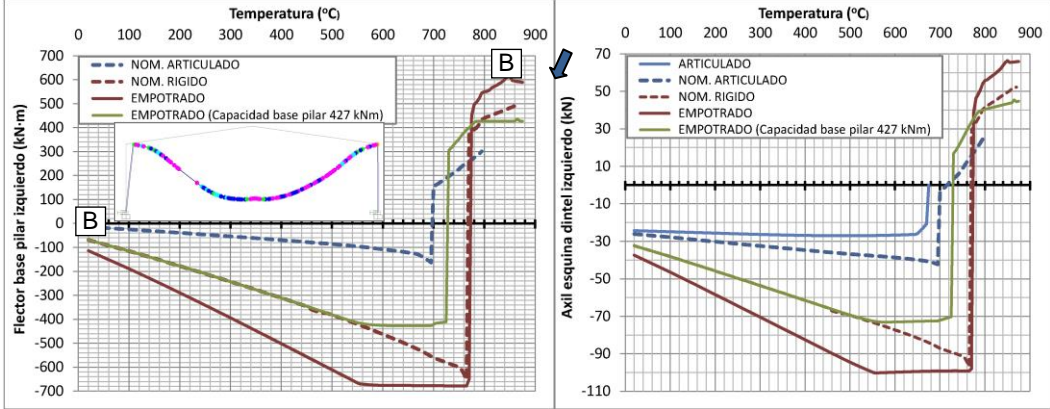


Figura 11. Flector en la base del pilar y axil en esquina del dintel del pórtico con pilar protegido.

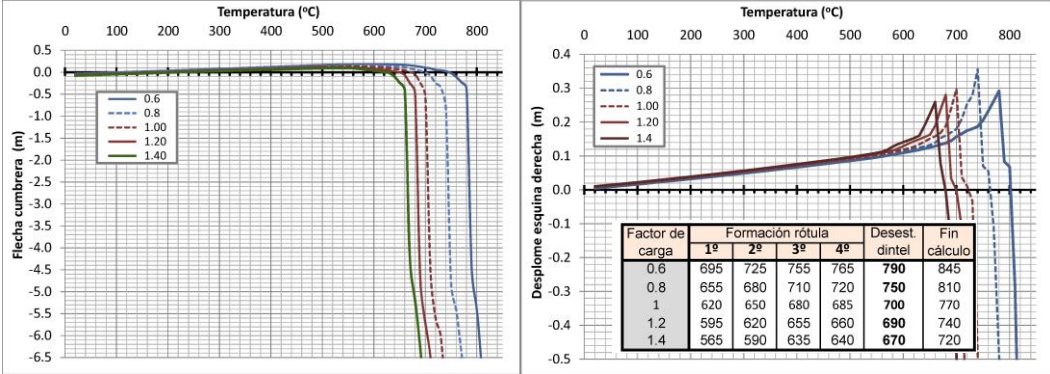


Figura 12. Flecha y desplome esquina derecha del pórtico con pilar sin proteger para varios factores de carga.

Conclusiones

- Los pórticos de base articulada, con o sin protección del pilar, pueden colapsar hacia el exterior de la nave, lo que puede provocar daños y extender el fuego a edificaciones que se encuentren incluso a más de 3 m del pórtico afectado por el fuego (RSCIEI).
- Si las bases presentan una pequeña rigidez, ésta puede ser suficiente para evitar la ruina hacia el exterior. En todo caso, bases y cimentación deben dimensionarse para soportar el flector de vuelco.
- Si las bases consisten en un empotramiento perfecto, suele aparecer un flector superior al existente a temperatura ambiente, para los que la base y cimentación no están dimensionadas para soportar. Es necesario realizar un cálculo con capacidad a flexión limitada en la base del pilar.
- Si se proporciona suficiente rigidez a la base, puede conseguirse un colapso hacia el interior del pórtico. Si se protege el pilar, incluso puede obtenerse que los pilares permanezcan verticales y la estructura no afecte a la estabilidad de las fachadas cortafuegos, lo que puede ser interesante en ciertas circunstancias. Además, los tiempos de resistencia al fuego aumentan de forma notable.
- La magnitud de las cargas ejerce una gran influencia en la temperatura crítica. Se aprecia más a cargas más bajas. La combinación en situación accidental incluye la carga de nieve, por lo que la temperatura crítica depende del valor de esta carga, lo que en la realidad es cuestionable.

Bibliografía

- Benlakehal, N., Lamri, B., Kada, A., Bouchair, A., Mesquita, L., 2013. Simulation numerique du comportement non-lineaire des portiques métalliques en situation d'incendie, 6^{ème} Symposium International sur la construction en zones sismiques (SICZS2013).
- Bong, M.W., 2005. Structural Fire Performance of steel portal frame buildings. Thesis. University of Canterbury. New Zealand.
- El-Heweity, M.M., 2012. Behaviour of portal frames of steel hollow sections exposed to fire. Alexandria Engineering Journal. 51, 95-107.
- Gentili, F., 2013. Advanced numerical analysis for the assessment of steel structures under fire. International Journal of Lifecycle Performance Engineering. 1, 159-184.
- Moss, P.J., Dhakal, R.P., Bong, M.W., Buchanan, A.H., 2009. Design of steel portal frame buildings for fire safety. Journal of Constructional Steel Research. 65, 1216-1224.
- Pyl, L., Schueremans, L., Dierckx, W., Georgieva, I., 2012. Fire safety of 3D frame structure based on a full-scale fire test. Thin-Walled Structures. 61, 204-212.
- Rahman, M., Lim, J., Hamilton, R., Komlekci, T., Pritchard, D., Yixiang, X., 2009. Dynamic behaviour of portal frame at elevated temperature. Simulia Customer Conference.
- Rahman, M., Lim, J., Hamilton, R., Komlekci, T., Pritchard, D., Yixiang, X., 2011. Effect of column base strength on steel portal frames in fire. Structures and Buildings. 166, 197-216.
- Song, Y., 2008. Analysis of industrial steel portal frames under fire conditions. Thesis. University of Sheffield. Uk.
- Song, Y., Huang, Z., Burgess, I.W., Plank, R.J., 2009. The behavior of single-storey industrial steel frames in fire. Advanced Steel Construction. 5, 289-302.
- Souza, J., Creus, G.J., Franssen, J.M., 2002. Numerical modelling of a single storey industrial building at elevated temperature- comparison between the 2d and 3d analysis-. Mecanica Computacional. 21, 1986-1997.

- Vassart, O., Cajot, L.G., O'Connor, M., Shenkai, Y., Fraud, C., Zhao, B., De la Quintana, J., Martínez Aragón, J. Franssen, J.M., Gens, F., 2004. 3D simulation of industrial hall in case of fire. Benchmark between ABAQUS, ANSYS and SAFIR. Proceedings of the 10th International Conference, 2.
- Wong, S.Y., Burgess, I.W., Plank, R.J., 2000. Simplified estimation of critical temperatures of portal frames in fire. Proc. International Conference on Steel Structures of the 2000s, Istanbul.
- Wong, S.Y., 2001. The structural response of industrial portal frame structures in fire. Thesis. University of Sheffield, Uk.

C03 - Metodología para la cuantificación del impacto visual de materiales y detalles de fachada en edificación rural

Montero-Parejo, M.J.¹, Jeong, J.S.², García-Moruno, L.², Hernández-Blanco, J.¹

¹ Dpto. de Expresión Gráfica, Centro Universitario de Plasencia, Universidad de Extremadura, Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, cmontero@unex.es; juliohb@unex.es. ² Dpto. de Expresión Gráfica, Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, Calle Santa Teresa de Jornet 38, 06800 Mérida, jin@unex.es; lgmoruno@unex.es. ²

Resumen

Las propiedades superficiales, (color y textura), de una fachada son las características visuales que en primer lugar determinan su apariencia. La textura se equipara con los materiales de construcción en este análisis superficial, siendo un "elemento base" la unidad mínima constructiva de repetición: ej.: el ladrillo. Trabajos recientes ponen de manifiesto que la textura al nivel de elemento base aporta poco en la percepción del edificio, y que son las texturas, junto con los detalles de tamaño superior como zócalos o molduras, su cantidad y disposición, lo que pueden tener un Impacto Visual Agregado (IVA) más significativo; otros autores señalan además que la calidad de los materiales en cubiertas, y el estado de conservación del conjunto matizan este impacto. En el presente trabajo se propone un método numérico (1-5) de cuantificación del Impacto Visual Agregado de Materiales y detalles constructivos (IVAM), basados en los aspectos psicológicos antes descritos; el conteo de píxeles de los elementos en fachada, y la simulación de fachadas con programas informáticos de fácil manejo, completarían los materiales usados en la metodología. La validación del método se llevó a cabo mediante encuesta fotográfica a un amplio espectro poblacional, con edificaciones seleccionadas de una zona rural, y previamente cuantificadas con el método desarrollado. Los resultados demostraron su consistencia, en cuanto a que las preferencias de los encuestados mostraron alta correlación con las predicciones del método propuesto. Extender la aplicación de este método agregado a otros elementos en fachada como los huecos, o el propio color, podría contribuir a la búsqueda de un indicador global de impacto en fachada, que satisfaga las necesidades de planeamiento urbanístico sin comprometer los valores paisajísticos de los entornos rurales.

Palabras clave: Diseño fachadas, valoración de alternativas, integración paisajística, ordenación del territorio

Methodology for quantifying the visual impact of materials and details of façade in rural building

Abstract

The surface properties (color and texture) of a façade are the visual features that primarily determine its appearance. Texture could be translated into construction materials in this superficial analysis, and a "base element" would be defined as the constructive minimum unit of repetition: e.g. bricks. Recent studies show that texture as the base level element contributes little to the overall perception of the building. Instead, textures in conjunction with other construction details as ornaments or moldings, and their arrangements on façade can have a Visual Impact Aggregate (VIA) more significant. Other authors also point out that the quality of the materials on roofs, and general condition of the building, can influence this impact. Taking into account these considerations, a numerical method (1-5, five-point Likert-type scale) for quantifying Visual Impact Aggregate of Materials (VIAM) and construction details is carried out in the present work. The amount of pixels of these elements counted by image treatment software, and a scenario simulation protocol would complete the materials used in the methodology. The method validation was performed by photographic survey to a broad range of people, with selected buildings photographed in a rural area. All images were also quantified using the method previously developed. The results demonstrated consistency, since respondent's preferences showed high correlation with predictions of the proposed method. Extending the application of the method to test elements other than materials or details, such as main openings (doors and windows), or color itself, could contribute to the search for a global impact indicator on façade, which meets the needs of urban planning and landscape values of rural environments.

Keywords: Façade design, alternatives assessment, landscape integration, spatial planning

Introducción y/o Justificación

Las propiedades superficiales de una fachada son las características visuales que en primer lugar determinan su apariencia (Swirnoff, 1982). Así el color y la textura, entre otros, tienen mayor impacto en la calidad de una fachada, que el propio volumen o forma del edificio (Stamps III, 1999a; García *et al.*, 2003). La textura se equipara con los materiales de construcción en este análisis superficial, siendo un “elemento base” la unidad mínima constructiva de repetición: ej.: el ladrillo, (García *et al.*, 2006).

La existencia además de una jerarquía ordenada y descendente de tamaños entre los elementos grandes o aperturas principales como puertas y ventanas, y las texturas al nivel de elemento base, es importante para la lectura visual coherente del edificio (Salingaros, 1998), (Tucker y Ostwald, 2005). Esta jerarquía se consigue con elementos de escala intermedia, que comprenden lo que se ha dado en llamar *ornamentos*, y que son esenciales si se quiere que el diseño resultante de una fachada sea coherente desde el punto de vista visual (Salingaros, 1999a). Fachadas demasiado sencillas violan este principio en el momento en el que su simplicidad genera “huecos” en el escalado descendente de elementos que disminuyen la calidad visual del conjunto (Salingaros, 1999b).

La forma de medir el escalado de tamaños en los elementos de una fachada, desde grandes a pequeños pasando por intermedios, ha sido ya cuantificada en función de la longitud total de la fachada por otros autores. La teoría visual de las “*septavas*” o niveles (Van der Lann, 1983 citado en Stamps III, 1999b), clasifica los tres tipos de elementos en fachada como: “*parte de la fachada*” si la longitud del elemento está entre 1-1/7 respecto a la longitud total de la fachada, sería el caso de puertas y ventanas, (elementos de escala grande: primera septava); “*ornamento*” si la longitud del elemento está en el rango 1/7-1/49 del total de la fachada, (elementos de escala intermedia: segunda septava), y “*textura*” si el rango de longitudes de los elementos está entre 1/49 y 1/343 respecto al total de la fachada (elementos de escala pequeña, tercera septava). Cornisas, molduras, y zócalos caen dentro de los ornamentos según esta teoría. Los elementos a nivel de elemento base (ej: ladrillo, piedra, laja, etc...), pertenecen por su tamaño, a la tercera septava. Mediante el conteo de píxeles con programas de tratamiento de imágenes, es relativamente sencillo categorizar los elementos de una fachada en función de sus longitudes dentro de la fachada siguiendo la teoría de septavas descrita.

Ornamentos y *texturas* (2ª y 3ª septavas), representan la cantidad “*detalles visuales*” de una fachada. El número de estos elementos incrementa la complejidad del diseño, y se ha demostrado que su existencia tiene un peso positivo en la aceptación visual de edificios (Stamps III, 1999a, b). Sin embargo el excesivo número de detalles visuales en una fachada, puede tener un efecto cargante negativo, y contraproducente, por lo que otros autores recomiendan niveles intermedios de complejidad en fachada como los óptimos para conseguir un efecto visual positivo; así no es prudente que estos elementos cubran más del 50% del total de la superficie de una fachada (Imamoglu, 2000; Akalin *et al.*, 2009).

Por otro lado, una fachada debe ir en consonancia con su tejado; la utilización de cubiertas poco saturadas y con mayor luminosidad, como la típica construida de materiales metálicos en tonos claros como el aluminio, frente a las de teja en tonos

cálidos, puede disminuir considerablemente la valoración del conjunto edificado (García *et al.*, 2010). Las aportaciones científicas más recientes ahondan en la línea de que colores muy luminosos y saturados, (como es el caso de los colores metalizados), marcan el contraste interno de color entre dos objetos o superficies de contacto, pudiendo resultar molesto el resultado visual (Vanrell *et al.*, 2004; Neuman *et al.*, 2007). En este sentido los edificios rurales de uso agro-industrial o ganadero, no siempre usan cubiertas con color o material adecuados, a diferencia de las edificaciones residenciales que por lo general emplean casi siempre teja en el revestimiento de sus cubiertas, con un resultado visual mucho más adecuado teniendo en cuenta el entorno natural en el que se dan.

Por último, la higiene y estado de conservación de un edificio también puede disminuir la valoración global del mismo (Brimblecombe y Grossi, 2005); si de por sí el edificio es sencillo y los materiales son básicos, un mal estado de conservación, disminuye considerablemente la valoración del mismo. Este podría ser el caso de edificios abandonados, o edificios que no se han rematado en su totalidad, como naves sin lucir o con ladrillo visto, cuya percepción global es la de un edificio descuidado o en el que no se ha invertido en la calidad de su acabado.

Una metodología que permita medir estos aspectos visuales descritos y así poder cuantificar el grado de impacto visual de un diseño edificado, no se ha abordado hasta la fecha desde nuestro conocimiento. Por lo que el objetivo general de este trabajo será profundizar en la medición objetivable de estos elementos de diseño para el posible futuro desarrollo de una herramienta de gestión en la planificación del paisaje construido.

Así, los objetivos específicos del presente trabajo se centran en:

- 1) Elaborar una metodología de cuantificación del impacto visual del diseño de fachadas que aglutine en concreto: el grado de complejidad de fachada con detalles constructivos (texturas y ornamentos), la calidad de la cubierta en función de su color y materiales de construcción, y el estado de conservación del conjunto.
- 2) Testar dicha metodología con casos fotografiados en una zona de estudio.
- 3) Validar su resultado con encuestas de percepción a un amplio espectro de población.

Material y Métodos

A partir de los antecedentes descritos, se genera una tabla metodológica de medición del impacto visual agregado que suma los efectos de diseño exterior antes descritos: complejidad en fachada por presencia de detalles constructivos, calidad de la cubierta, y estado de conservación del conjunto. La cuantificación de estos impactos pasa por establecer una relación entre los elementos visuales del edificio y los del entorno más inmediato que le rodea. En esta relación, las características de las texturas (tamaño y densidad de grano de los materiales, regularidad, contraste interno, agrupación y disposición en ornamentos), o las de los colores de las cubiertas (brillo, saturación, y luminosidad), se pueden medir con programas informáticos de tratamiento digital de imágenes y comparar con las texturas y colores del entorno de edificio (García *et al.*, 2003, 2006; Stamps III, 1999a). García (1998) ya definió las posibles relaciones edificio-entorno entre comparaciones de tipos de elementos:

- Continuidad visual (CV): se define así la relación existente entre dos características o tipos similares o muy cercanas en un diagrama o escala.
- Diversidad: es la relación existente entre dos características cuando entre ellas existe un determinado salto. Si este salto no implica diferencias marcadas, se entiende que existirá *Diversidad sin Contraste* (DSC).
- Contraste: relación existente entre dos características cuando entre ellas existe un salto y este es superior a una determinada cuantía, de tal forma que se perciban como diferentes. Estas diferencias pueden ser moderadas e implicar cierta compatibilidad (*Contrastes Compatibles* (CC)), o pueden llegar a romper la unidad y por tanto la compatibilidad de la escena, dando lugar a contrastes que impliquen poca compatibilidad con el entorno, (*Contrastes Poco Compatibles* (CPC)).

Esta terminología, ampliamente usada por otros, se usa también en este trabajo por su sencillez para definir lo cerca o lejos que estarían a priori los materiales del edificio de integrarse en el entorno (Tabla 1).

Para el presente estudio la zona seleccionada es Hervás, situada en el noreste de Extremadura en la comarca del Ambróz, (Oeste español: 40°15'0.4"8 W- 6°01'10"8 N). Esta zona ya ha sido objeto de estudio por los autores, por lo que se tiene de la misma una amplia caracterización que justifica su elección (Jeong *et al.*, 2012, 2013, 2014).

Tabla 1. Propuesta de medición del Impacto Visual Agregado en función de los materiales (IVAM), su calidad y disposición en el edificio

COMPLEJIDAD Y CALIDAD DE FACHADA	CALIDAD DE CUBIERTA	ESTADO DE CONSERVACIÓN	VALORACIÓN DE IMPACTOS	PUNTUACIÓN
Fachada básica sin remates o acabados. Presencia de otros elementos como aluminios en ventanas y bloques prefabricados	Chapas metálicas brillantes (tonos fríos entre gris-azulado-verdoso)	Edificios sin lucir, o con ladrillo visto, con suciedad evidente y descuido, o en estado ruinoso.	CPC-MUY ALTO	5
		Estado de conservación aceptable	CPC-ALTO	4
Fachada básica sin remates o acabados. Presencia de otros elementos como aluminios en ventanas y bloques prefabricados	Teja/ Chapas de tonos saturados no "metálicos" (Rojizos y marrones o tonos cálidos)	Edificios sin lucir, o con ladrillo visto, con suciedad evidente y descuido, o en estado ruinoso.	CPC-ALTO	4
		Estado de conservación aceptable	CPC-MODERADO	3
Grados bajos de complejidad bajos (<20%). Presencia de molduras en madera o piedra. Ausencia de revestimientos en piedra. Ausencia de aluminios	Teja árabe o mixta	Estado de conservación entre muy bueno y aceptable	CC	2
Grados intermedios de complejidad (20-50% del total de la fachada). Revestimiento parcial o total en piedra y molduras en madera. Ausencia de aluminios	Teja árabe o mixta	Estado de conservación entre muy bueno y aceptable	DSC	1

Se cuenta con un inventario de edificaciones aisladas de la zona (Hernández et. al., 2007), sobre el que poder simular distintos diseños. De él un total de 8 casos fueron finalmente seleccionados, aplicando entre otros criterios la accesibilidad al edificio, y la buena visibilidad para la toma de fotos. Estos casos comprenden dos tipologías de trabajo, residencial (4 casos) y agraria (4 casos), que son representativas de la zona de estudio en particular, y del contexto rural español en general.

A partir de estos 8 edificios de partida (4+4), 44 escenarios entre reales y simulados con Photoshop®, se prepararon para validar el método mediante encuestas de opinión. Estos escenarios proceden de modificar cada edificación de partida con 3 umbrales de impacto, variando una variable de diseño diferente de entre estas 4: escala, color, materiales, u ocultación de líneas y formas del edificio con vegetación. Las metodologías para la medición de los impactos relativos al color, la escala, o la ocultación de líneas y formas con vegetación, se han desarrollado en otros trabajos (García et al., 2010), (Montero-Parejo et al., 2013).

Si un edificio se modifica en escala, ya no se emplea para analizar otra variable de modificación. Esto permite aislar uno a uno los efectos principales de variación de un atributo manteniendo constantes los demás, facilitando así la estadística de resultados posterior. $4 \times 3 = 12$ casos de modificación para tipología residencial, mas $4 \times 3 = 12$ casos de modificación para tipología agraria, junto con los 8 casos reales de partida, son por consiguiente los escenarios de encuesta que se tienen inicialmente ($12 + 12 + 8 = 32$); ($12 + 4 = 16$ escenarios residenciales; $12 + 4 = 16$ escenarios agrarios).

A estos se les añaden otros 12 (6 tipología agraria + 6 tipología residencial), resultando el total de 44 casos antes presentado; ($16 + 6 = 22$ escenarios residenciales; $16 + 6 = 22$ escenarios agrarios). El sentido de estos 12 casos extra, era evaluar el efecto interactivo de la modificación de algunos de los atributos descritos anteriormente dos a dos (color + escala), (ocultación + color); (estos resultados tampoco se presentan en este documento).

Finalmente, del total de 44 casos, 10 serán objeto particular de análisis del presente estudio (Figura 1), 5 casos residenciales, y 5 naves agropecuarias. Los 10 casos elegidos para el presente trabajo, se eligieron así porque ya presentaban impacto alto en color (García et al., 2003), (datos no mostrados). Además de validar el método, se quiso comprobar cómo la mejora en el diseño de fachadas aumentando la calidad de la misma con ornamentos y materiales como la teja, puede amortiguar un color negativo. Los 10 casos fueron finalmente medidos en su IVAM según la tabla 2 (Figura 1).

El resto de escenarios sirvieron de casos control en la encuesta, y también para medir el impacto y efecto agregado del resto de variables antes descritas: el color y la escala (Montero-Parejo et al., 2013), y las líneas y las formas (García et al., 2010).

Posteriormente el total de casos (44) fueron sometidos a encuesta a un amplio espectro de población. Los participantes fueron agrupados en dos muestras, y dos tandas de 22 fotografías fueron presentadas a cada grupo: fotos de tipologías residenciales para el grupo 1, y de edificaciones agrarias para el grupo 2. Este diseño redujo el número total

de casos presentados por encuestado a un número manejable, y permitió que en la valoración final el tipo constructivo, residencial o agrario, no tuviera un efecto “ruido” sobre los resultados.

1046 participantes realizaron la encuesta gracias al uso de una página web; el empleo de internet es un medio de participación pública ampliamente testado para estos propósitos (Roth, 2006). La participación voluntaria a este trabajo fue ofrecida durante conferencias en colegios de secundaria, centro de día para personas mayores, universidades, y otras instituciones públicas. El grupo 1 (encuesta residencial) lo compusieron 559 participantes, y el grupo 2 (encuesta agraria) 487. Los participantes abarcaron distintos estratos poblacionales por edad, sexo, origen o procedencia, y ocupación, para garantizar que ambas muestras fueran, en la medida de lo posible, homogéneas y representativas.

Las imágenes eran presentadas aleatoriamente para evitar que el orden de presentación influenciara el resultado. La asignación de los participantes al grupo 1 o 2, era aleatoria también. Para ello un script basado en la orientación a objetos, fue desarrollado en el lenguaje de programación JAVA.

Los participantes debían responder ante cada imagen dos preguntas:

- 1) ¿Cómo valoraría la integración del edificio en el entorno? (1= Muy Mal, 2=Mal, 3=Aceptable, 4=Bien, 5=Muy Bien)
- 2) ¿Qué elemento de los siguientes cambiaría para mejorar su integración? (Escala, Colores, Materiales, Vegetación circundante, Nada)

Radio botones de selección fueron usados para la elección de las opciones planteadas, y las imágenes fueron presentadas a una resolución aceptable para que fueran visibles los detalles (10x15 cm, 100-150 ppp). Finalmente los datos fueron almacenados siguiendo una conexión SQL (Van des Busschen y Heuer, 1993).

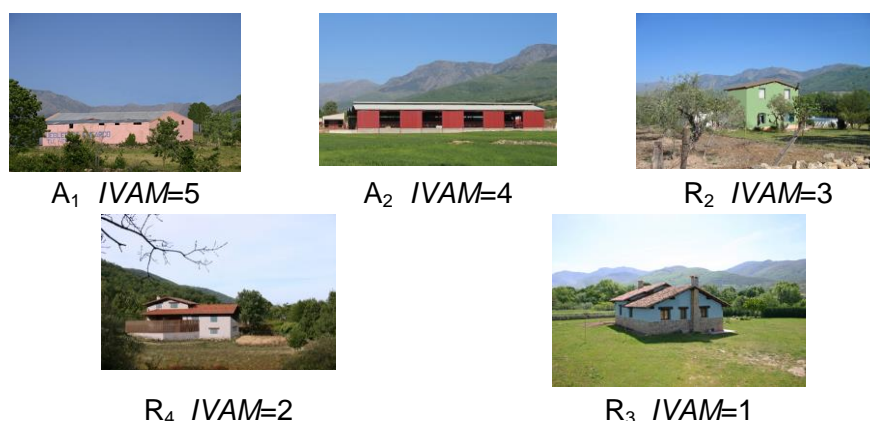


Figura 1. Cinco de los diez casos de estudio en los que se observa el valor IVAM medido. La letra indica la tipología de pertenencia: R=residencial, A=agropecuaria, el subíndice el caso (1-5)

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el método propuesto es válido en la medida en la que según aumenta el número del impacto, disminuye la aceptación del edificio (Figura 2a). Por lo que, y como ponen de manifiesto otros autores, aumentar la complejidad de la fachada incluyendo ciertos adornos o detalles tiene un efecto positivo (Imamoglu, 2000; Akalin *et al.*, 2009).

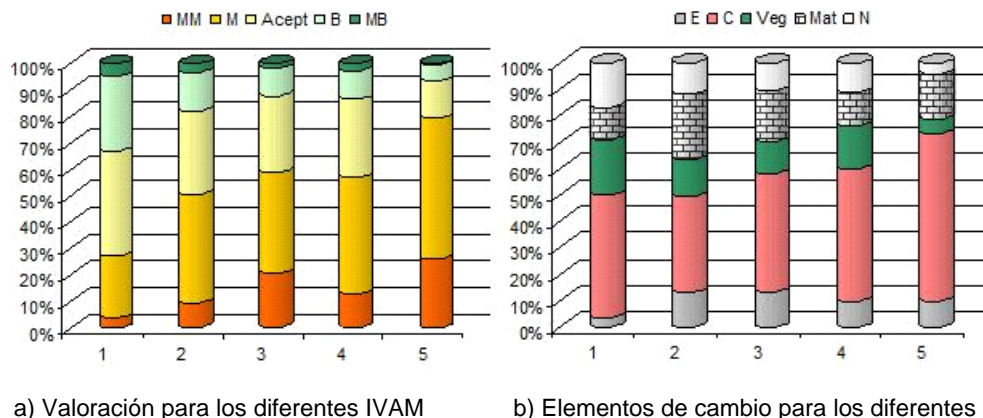


Figura 2. Efecto de la calidad de los acabados y materiales de construcción en la percepción visual de los edificios de estudio

Por otro lado, y en relación a la segunda pregunta planteada, se observa cómo el color es el elemento de cambio mayoritario elegido por los encuestados para ser cambiado. Hecho que se esperaba al tener los casos de estudio un color de fachada con cierto grado de impacto. Sin embargo de la gráfica presentada para los resultados de la segunda pregunta (Figura 2b), se desprende que aun siendo el elemento más demandado para su cambio, lo es menos en los casos de IVAM bajo. Por lo que, y como se observa en los datos de la figura 2, una fachada y cubierta con calidad media-alta (IVAM 1-2), puede contrarrestar el efecto negativo de otro elemento con impacto alto como es el color. Dicho resultado está en consonancia con las teorías de suma de impactos agregados descritas por otros autores (Smardon *et al.*, 1986; Cañas *et al.*, 2009), por la que el impacto visual total de un edificio, es consecuencia de la suma parcial de los impactos agregados de sus todos sus elementos visuales: (color, materiales, escalas, líneas, y formas, etc.). Si impactamos mucho con un elemento, deberíamos poder disminuir en la suma final agregada de impactos los del resto de elementos.

Conclusiones

En lo que respecta a los resultados del presente trabajo, el método planteado nos permite cuantificar el impacto consecuencia de los materiales, su calidad y disposición de manera clara y sencilla, siendo una metodología fácil de implementar. Un IVAM bajo, nos permitiría ser menos exigentes en el cuidado de otros elementos como el color en el resultado final de la integración de un edificio. O dicho de otro modo, con metodologías numéricas como la propuesta podría conseguirse un impacto final agregado suma de los impactos todos los elementos visuales del diseño: color, líneas, formas, materiales, escalas, y huecos. Un diseño adecuado sería aquel en el que el la suma final sea mínima en todos estos elementos. Impactar demasiado en un solo elemento, implicaría ser más conservador en el impacto de los demás. Detrás de esta teoría, irían trabajos de futuro con la idea de cuantificar el resto de impactos implicados en el diseño de edificios.

Por otro lado, en la metodología propuesta, no se contempla el cruce por ejemplo de chapa metálica en cubierta con una fachada compleja con ornamentos en piedra o madera, ya que no se ha encontrado en el inventario de la zona ningún caso así;

fachadas complejas han estado asociadas siempre en el estudio a la tipología residencial, en las que se ha comprobado en el inventario de campo que presentan en su mayoría un grado de conservación de partida aceptable, condicionado en parte por el encarecimiento de los materiales usados en la fachada y cubiertas, y que implican por lo general acabados limpios y cuidados. Sólo se ha observado presencia de chapas metálicas en el uso agropecuario, donde además las fachadas suelen ser más sencillas. Sin embargo, otras combinaciones podrían proponerse para mejorar el método en el futuro.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por la *Fundación Alfonso Martín Escudero* (Proyecto: 074/03) y por el *Plan Nacional de I+D+I* (Proyecto: BIA2007-61166).

Bibliografía

- Akalin A., Yildirim K., Wilson C., and Kilicoglu O., 2009. Architecture and engineering students' evaluations of house façades: Preference, complexity and impressiveness. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 124–132.
- Brimblecombe P., Grossi C.M., 2005. Aesthetic thresholds and blackening of stone buildings. *Science of the Total Environment* (349), 175-189.
- Cañas I., Ayuga E., Ayuga F., 2009. A contribution to the assessment of scenic quality of landscapes based on preferences expressed by the public, *Land Use Policy*, 26, 1173-1181.
- García Moruno, L., 1998. Criterios de diseño para la integración de las construcciones rurales en el paisaje.(Tesis doctoral), E.T.S.I. Agrónomos. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid: 430.
- García L., Hernández J., Ayuga F., 2003. Analysis of the exterior colour of agro-industrial buildings: a computer aided approach to landscape integration. *Journal of Environmental Management* 69, 93-104.
- García, L., Hernandez, J., Ayuga, F., 2006. Analysis of the materials and exterior texture of agro-industrial buildings: a photo-analytical approach to landscape integration. *Landscape and Urban Planning* 74, 110-124.
- García L., Montero M.J., Hernández J., López S., 2010. Analysis of lines and forms in buildings to rural landscape integration. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 833-847.
- Hernández J., García L., Montero M.J., Sánchez A., Lopez S., 2007. “Determinación de los impactos producidos en los Humedales de Extremadura para su defensa y protección ambiental”. Ed. FAME (Fundación Alfonso Martín Escudero). Madrid.
- Imamoglu Ç., 2000. Complexity, liking and familiarity: architecture and non-architecture Turkish students' assessments of traditional and modern house facades. *Journal of Environmental Psychology* , 20, 5-16.
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., 2012. Integrating buildings into a rural landscape using a multi-criteria spatial decision analysis in GIS-enabled web environment. *Biosystems Engineering* 112 (2), 82-92.
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., 2013. A site planning approach for rural buildings into a landscape using a spatial multi-criteria decision analysis methodology. *Land Use Policy* 32, 108-118.
- Jeong, J.S., Hernández-Blanco, J., García-Moruno, L., 2014. Approaches to validating a mutual participatory web-planning interface in rural Extremadura (Spain). *Land Use Policy* 39, 211-223.

- Montero-Parejo, M.J., García-Moruno, L., López-Casares, S., Hernández-Blanco, J., 2013. Visual impact assessment of color and scale of buildings on the rural landscape. *Environmental Engineering and Management Journal*, in press.
- Neuman, H., Yazdanbakhsh, A., Mingolla, E., 2007. Seeing surfaces: The brain's vision of the World. *Physics of Life Reviews* (4), 189-222.
- Roth M., 2006. Validating the use of Internet survey techniques in visual landscape assessment-An empirical study from Germany, *Landscape and Urban Planning*, 78, 179-192.
- Salingaros N.A., 1998. A scientific basis for creating architectural forms. *Journal of Architectural and Planning Research*, 15 (4), 283-293.
- Salingaros N. A., 1999a. Architecture, Patterns, and Mathematics. *Nexus Network Journal*, 1, 75-85.
- Salingaros N. A., 1999b. Urban Space and its Information Field. *Journal of Urban Design*, 4 (1), 29-49.
- Smardon R.C., Palmer J.F., Felleman J.P., 1986. *Foundations for Visual Project Analysis*, John Wiley, New York, On line at: www.esf.edu/es/via.
- Swirnoff, L., 1982. The visual Environment: consider the surface. *The Environmentalist*, 2, 217 -222.
- Stamps III A.E., 1999a. Physical determinants of preferences for residential facades. *Environmental Behavior*, 31, No. 6, 723-751.
- Stamps III A.E., 1999b. Architectural detail, Van der Laan septaves and pixel counts. *Design Studies*, 20, 83-97.
- Tucker, C. and M. J. Ostwald, 2005. Spatial Configuration within Residential Facades, in 5th International Space Syntax Symposium Proceedings, Vol. 2, Akkelies van Nes (ed), (Delft, The Netherlands).
- Van Den Bussche J., Heuer A., 1993. Using SQL with object-oriented databases, *Information Systems*, 18 (7), 461-487.
- Vanrell M., Baldrich R., Salvatella A., Benavente R., Tous F., 2004. Induction operators for a computational colour-texture representation. *Computer Vision and Image Understanding* (94), 92-114.

C04 - Evaluación de tableros ecológicos fabricados con residuos de carpintería

García-Ortuño, T.¹, Ferrández-Villena, M.¹, Ferrández-García, M.T.¹, Andreu-Rodríguez, J.¹, Ferrández-García, C.E.².

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), tgarcia@umh.es; m.ferrandez@umh.es; mt.ferrandez@umh.es; jandreu@umh.es
² Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es;

Resumen

La industria del mueble genera un elevado porcentaje de residuos, entre los que se encuentran el serrín, las virutas, los restos de chapa y tablero, y los recortes de madera. Todos ellos son recuperables como materia prima en otros puntos del sector de la madera, prolongando de esta forma su vida útil. El serrín o aserrín se usa para fabricar tableros de madera aglomerada, también como cama o lecho para animales y en los últimos años ha aumentado su uso para la fabricación de pellets. El objetivo de este estudio fue evaluar la utilización del serrín de carpintería como materia prima para la fabricación de tableros aglomerados libres de formaldehído, mediante un proceso cíclico. Unos tableros se fabricaron utilizando almidón de patata como adhesivo, mientras que otros se fabricaron sin adhesivos. En total se obtuvieron 40 tableros sin adhesivos y otros 40 con un 10% de almidón. Se utilizaron partículas de tamaño 0.25 a 1 mm y de 1 a 4 mm. Se fabricaron en la prensa de platos calientes con una presión de 2.6 MPa y una temperatura de 110°C. El proceso se realizó de uno a cuatro ciclos de 30 min cada uno. Las pruebas indicaron que los tableros fabricados sin adhesivos obtuvieron un valor de resistencia a flexión de 8.99 N/mm², un módulo de elasticidad de 1239 N/mm² y una cohesión interna de 0.20 N/mm². En cambio, los tableros fabricados utilizando almidón de patata como aglutinante obtuvieron valores de resistencia a flexión de 22.28 N/mm², un módulo de elasticidad de 2679 N/mm² y una cohesión interna de 0.49 N/mm², obteniendo mejores valores, en general, los tableros fabricados con partículas de menor tamaño. Se concluye que los tableros con almidón de patata tienen propiedades mecánicas estructurales, mientras que los tableros sin adhesivos solo podrían utilizarse como aislantes.

Palabras clave: Paneles eco-sostenibles, libre de formaldehído, almidón de patata, propiedades mecánicas, serrín.

Evaluation of environmentally friendly boards made using sawdust from carpentries.

Abstract

The furniture industry generates a high percentage of residues such as sawdust, chips, debris of boards, and wood chips. All of them are recoverable as raw material in other parts of the sector, prolonging this way its service life. Sawdust is used to manufacture particle boards, also as livestock bedding and in recent years has increased its use for the pellet industry. The objective of this study was to evaluate the use of sawdust from carpentries to manufacture formaldehyde-free chipboards by using a cyclic process. Half of the panels were manufactured using potato starch as adhesive, and the other half were binderless. 40 boards were elaborated without adhesives and another 40 with a 10% of potato starch. Particle sizes used were: from 0.25 to 1 mm and from 1 to 4 mm. They were made in a laboratory hot press under a pressure of 2.6 Mpa at a temperature of 110°C. The process was carried out from one to four cycles of 30 min. The tests indicated that the boards made without adhesives obtained a value of bending strength of 8.99 N/mm², a modulus of elasticity of 1239 N/mm² and an internal bond strength of 0.20 N / mm². In contrast, boards made using potato starch as a binder obtained flexural strength values of 22.28 N/mm², a modulus of elasticity of 2679 N/mm² and internal bond strength of 0.49 N/mm², obtaining better values with smaller particles. It can be concluded that potato starch boards have structural mechanical properties while the boards without adhesives could be used only as insulating boards.

Keywords: Eco-friendly boards, formaldehyde-free, potato starch, mechanical properties, wood residues.

Introducción

Ante la escasez mundial de los recursos forestales, la contaminación ambiental y el despilfarro de los recursos biológicos se ha producido recientemente un gran interés por la recuperación de residuos lignocelulósicos como materia prima para tableros de partículas.

La industria del mueble genera diferentes residuos que suponen un elevado porcentaje respecto al total en el sector de la madera. Entre los residuos de la fabricación de mobiliario se encuentran el serrín, las virutas, los restos de chapa y tablero, y los recortes de madera. Todos estos residuos son recuperables como materia prima en otros puntos del sector de la madera prolongando así su vida útil. El serrín o aserrín se usa para fabricar tableros de madera aglomerada, también como cama o lecho para animales y en los últimos años ha aumentado su uso para bioenergía con la fabricación de pellets y briquetas.

Por otro lado, el elevado interés existente en la obtención de tableros libres de formaldehído ha dado lugar a un aumento de la presión sobre los productores de tableros aglomerados para dejar de usar aglutinantes que contengan formaldehído. En este sentido, se han realizado estudios sobre tableros de partículas sin aglutinantes con diferentes tratamientos previos y tableros fabricados con adhesivos naturales ecológicos. Los investigadores están avanzando en los métodos de fabricación sin adhesivos (Ferrández-García *et al.*, 2013) y en el uso de resinas y adhesivos naturales para sustituir a las resinas sintéticas, tales como almidón, proteínas, lignina, taninos, etc. (Imam *et al.*, 2001; El-Wakil *et al.*, 2007; Ciannamea *et al.*, 2010; Moubarik *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011; Ferrández-García *et al.*, 2012).

El almidón es un producto renovable relativamente barato, que se obtiene de las plantas. Además de ser la principal fuente de energía en la dieta humana, los almidones se utilizan en una gran variedad de procesos industriales, entre otros, como aditivos en cemento para mejorar el tiempo de curado, como pegamento en escayola y en tableros de yeso y fibra.

El objetivo de este estudio fue evaluar la utilización del serrín de carpintería como materia prima para la fabricación de tableros aglomerados libres de formaldehído, mediante un proceso cíclico, unos sin adhesivos y otros con un adhesivo ecológico como es el almidón de patata.

Material y Métodos

El material utilizado para la fabricación de los tableros fue aserrín de una carpintería industrial. Los residuos correspondían a madera de haya (*Fagus silvatica*), roble (*Quercus petraea*) y en pequeña proporción sapelli (*Entandrophragma cylindricum*). A dichos residuos no se les aplicó ningún tratamiento, solamente se tamizaron para su clasificación por tamaño en una cribadora vibradora horizontal, obteniéndose dos tamaños de partícula: de 0.25 a 1 mm y de 1 a 4 mm.

La cantidad de almidón de patata utilizado fue un 10% en peso en relación al peso de las partículas de madera. El proceso utilizado fue el descrito por Ferrández-García *et al.* (2012). La temperatura de la prensa de platos calientes fue de 110°C, la presión de 2.6

Mpa y el tiempo de prensado de 30 min, completándose hasta 4 ciclos de prensado en la prensa de platos calientes según el tipo de tablero como se indican en la tabla 1.

Se elaboraron un total de 80 tableros, 5 tableros de cada tipo, con unas dimensiones aproximadas de 600x400x6.5 mm. Los tableros se cortaron siguiendo la norma UNE-EN 326-1 (1995), para la obtención de las correspondientes probetas de ensayos. Las propiedades evaluadas fueron: densidad (según la norma UNE-EN 323, 1994), hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua (según la norma UNE-EN 317, 1994), la resistencia a flexión (módulo de ruptura y módulo de elasticidad, según la norma UNE-EN 310, 1994), y la cohesión interna o resistencia a tracción (según la norma UNE-EN 319, 1994).

Para clasificar los tableros en función de sus propiedades se utilizó la norma UNE-EN 312 (2010), aplicando los requisitos de los tableros con un rango de grosor de 6 a 13 mm.

Tabla 1. Tipología de tableros fabricados.

Tamaño de partícula (mm)	Adhesivo	Ciclos	Tiempo en prensa (min)	Tipo
0.25 a 1 (A)	No	1	30	1
		2	30+30	2
		3	30+30+30	3
		4	30+30+30+30	4
	10% Almidón	1	30	5
		2	30+30	6
		3	30+30+30	7
		4	30+30+30+30	8
1 a 4 (B)	No	1	30	9
		2	30+30	10
		3	30+30+30	11
		4	30+30+30+30	12
	10% Almidón	1	30	13
		2	30+30	14
		3	30+30+30	15
		4	30+30+30+30	16

Los datos obtenidos se sometieron a un estudio estadístico utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) de los valores medios obtenidos para cada panel, para ver si las diferencias eran significativas. La desviación estándar de las medias de los valores de cada parámetro también fue determinada. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0.

Resultados y Discusión

Los valores medios de las propiedades físicas se indican en la tabla 2. La densidad varió desde 896 hasta 1076 kg/m³, por lo que los tableros se pueden considerar de alta densidad. Los valores de densidad sólo dependen del tamaño de partícula utilizado en

el proceso de fabricación, obteniéndose mayores valores con las partículas de mayores dimensiones (de 1 a 4 mm).

Para medir la absorción de agua (WA) y el hinchamiento en espesor (TS) se utilizaron tres probetas de cada tablero. Los valores medios obtenidos de WA y TS fueron muy elevados, no dependiendo de ninguna de las variables de fabricación, simplemente del material lignocelulósico utilizado. Esto sucede debido a que no se han utilizado resinas sintéticas. Para minimizar el hinchamiento y la absorción de agua se podría utilizar algún producto hidrófugo (por ejemplo ceras) como los que se utilizan en la industria de la

Tabla 2. *Propiedades físicas de los tableros elaborados con residuos de carpintería.*

Tipo	Densidad(kg/m ³)	TS 24h	WA 24h	TS 2h	WA 2h
1	896.09 (46.42)	44.33 (13.06)	95.56 (22.31)	33.57 (19.37)	82.34 (16.95)
2	1014.73 (41.81)	72.58 (14.58)	104.88 (29.21)	60.40 (14.92)	92.74 (27.17)
3	991.41 (90.54)	61,11 (11.66)	97.44 (21.07)	51.66 (12.14)	85.79 (23.09)
4	986,33 (96,41)	77.23 (12.17)	125,57 (23,81)	69,51 (9,57)	105,64 (27,05)
5	898.58 (46.29)	58.95 (12.88)	135.06 (22.66)	51.63 (13.98)	118.80 (21.09)
6	954.84 (93.67)	59.24 (12.34)	126.02 (32.59)	47.58 14.56	105.08 28.41
7	1032.73 (91.68)	54.55 (14.77)	101.89 (34,29)	43.27 (16.70)	83.28 (26.28)
8	975.13 (73.96)	58.13 (15.48)	111.95 (27.25)	46.60 (16.40)	95.52 (22.93)
9	898.89 (42.56)	68.61 (9.45)	123.89 (2.44)	61.13 (4.55)	113.10 (25.59)
10	1005.39 (66.33)	65.59 (10.85)	122.26 (38.15)	48.65 (3.68)	103.06 (23.99)
11	923.95 (89.05)	68.68 (25.28)	124.58 (41.15)	53.65 (11.33)	105.78 (22.83)
12	986.12 (20.48)	73.89 (17.0)3	129.37 (29.95)	69.28 (18.31)	106.50 (35.86)
13	1076.86 (43.68)	62.42 (16.58)	110.53 (48.89)	53.25 (16.26)	82.21 (26.17)
14	1048.32 (85,87)	55.29 (9.84)	123.07 (42.56)	42.76 (15.64)	84.25 (23.88)
15	1078.59 (60.88)	62.90 (19.44)	121.81 (58.26)	45.39 (21.41)	95.74 (30.31)
16	1036.73 (19.96)	44.16 (13.14)	112.90 (47.42)	26.56 (11.17)	85.43 (13.02)

() Desviación estándar; TS: porcentaje de hinchamiento en espesor tras 2 y 24 horas de inmersión en agua; WA: % absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión.

madera.

Teniendo en cuenta los datos de hinchamiento en espesor, los tableros podrían ser clasificados como Tipo P1 según la norma UNE-EN 312 (tableros de uso general para utilización en ambiente seco en interior), o Tipo P2 (tableros para aplicaciones interiores incluyendo mobiliario), ya que para estos dos tipos no se tiene en cuenta el hinchamiento en espesor. No obstante, para realizar la clasificación hay que tener en cuenta además los resultados de las propiedades mecánicas.

Para obtener las propiedades mecánicas se cortaron 6 probetas de cada tablero para el ensayo a flexión y tres probetas para el ensayo de cohesión interna.

Los resultados de los ensayos a flexión en función del tamaño de partícula y ciclo de prensado se indican en la gráfica 1, donde se observa el valor medio de los ensayos de resistencia a flexión (MOR) de cada uno de los tipos de tableros y el módulo de elasticidad en flexión (MOE).

Los valores obtenidos de MOR y MOE dependen del tamaño de partícula y del proceso de fabricación. Como se observa en la figura 1, los valores de MOR y MOE van aumentando tras cada ciclo de prensado, tanto para los tableros con adhesivo como para los tableros sin adhesivo. Con las partículas de tamaño 0.25 a 1 mm se obtienen mayores valores en los tableros sin adhesivos, en cambio no sucede lo mismo cuando se ha empleado almidón. Los valores obtenidos de MOR para los tableros sin adhesivos no alcanzaron el valor de 12.5 N/mm^2 , que es el mínimo requerido para ser clasificados como tipo P1. Los tableros con almidón de patata y cuatro ciclos de prensado alcanzaron valores de MOR de 22 N/mm^2 y valores de MOE de 2770 N/mm^2 , por lo que se podrían clasificar como tipo P5, tableros estructurales, si cumplieran el requisito mínimo de hinchamiento en espesor.

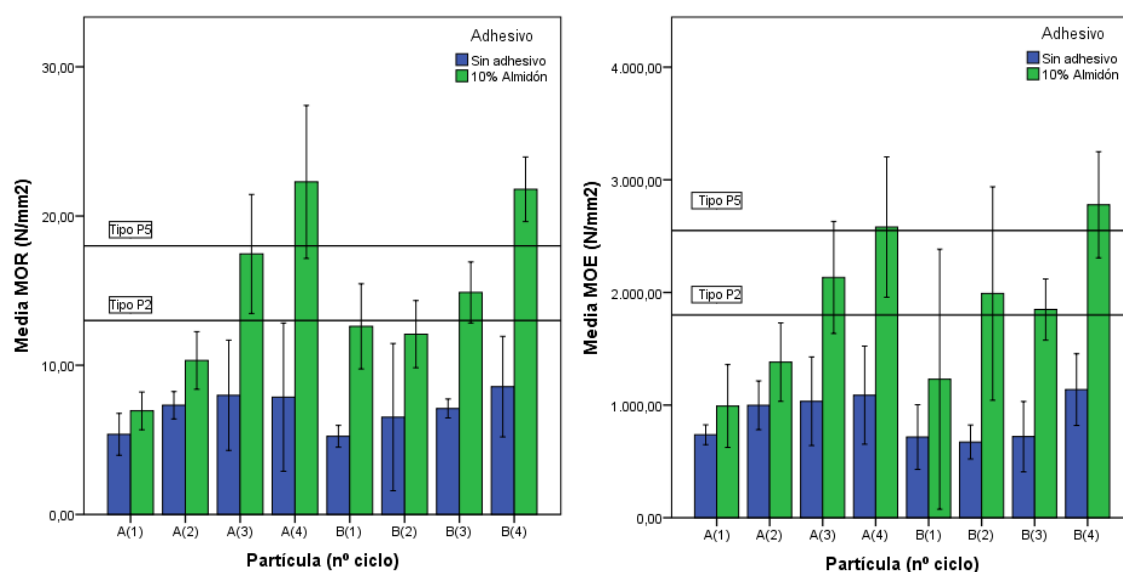


Figura 1. Resistencia a flexión (MOR) y módulo de elasticidad en flexión (MOE) en función del tamaño de partícula, ciclo de prensado y adhesivo utilizado.

Los resultados del ensayo a tracción o cohesión interna (IB) en función del tamaño de partícula, ciclo de prensado y adhesivo se muestran en la figura 2. Como se observa, la cohesión depende del tamaño de partícula, del ciclo de prensado y de si se ha utilizado adhesivo o no. En general se obtienen mayores valores con el uso de adhesivo, aumentando con el número de ciclos de prensado.

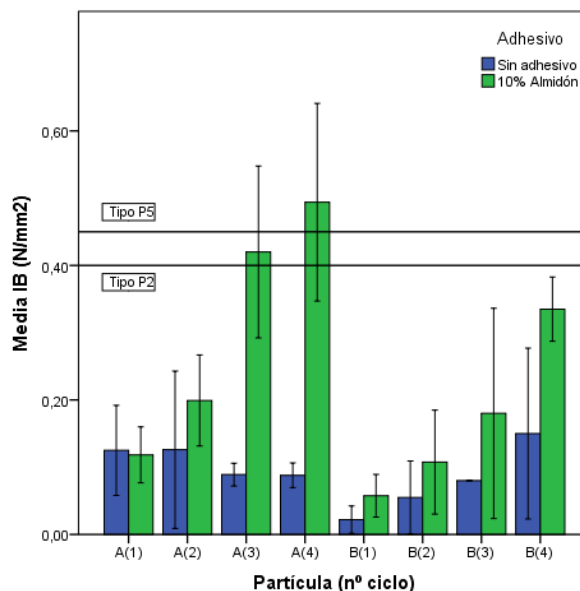


Figura 2. Valores de cohesión interna (IB) en función del tamaño de partícula, ciclo de prensado y adhesivo utilizado.

Zang *et al.* (2015) realizaron una revisión sobre los tableros sin adhesivos indicando que las propiedades mecánicas dependían del material, presión, humedad, temperatura y tiempo y en todas las investigaciones analizadas emplearon temperaturas de 180 a 220°C. En este trabajo se ha empleado una temperatura de 110°C, y se han obtenido valores de las propiedades mecánicas similares a otros trabajos con otros materiales, por lo que parece que aumentando la temperatura se puede mejorar el mecanismo de auto-uniión de las partículas. Los valores obtenidos utilizando almidón como adhesivo son similares a los obtenidos con otros materiales (Wang *et al.*, 2011, Ferrández-García *et al.*, 2012).

La norma UNE-EN 312 (2010), clasifica como tipo P5, tablero estructural aquellos tableros cuyo valor de IB supere 0.45 N/mm². Este valor lo superan los tableros tipo 8, son los fabricados con el tamaño de partículas de 0.25 a 1 mm, con 4 ciclos de prensado. Los tableros tipo 6 superan el valor requerido para ser clasificados tipo P2.

Para hacer la clasificación definitiva de los tableros hay que tener en cuenta todas las propiedades conjuntamente. Debido a que el hinchamiento en espesor de los tableros tipo 8 es mayor del 11%, éstos no se podrían considerar tipo P5, estructurales, mientras no se mejore esta propiedad. Por tanto con un TS de 58.13%, MOR mayor que 13 N/mm², MOE mayor que 1800 N/mm² e IB de 0.40 N/mm², solo podemos considerar los tableros con almidón tipo P2. Los tableros sin adhesivos no llegan a alcanzar valores para uso general, tipo P1, pero podrían utilizarse como paneles aislantes.

Conclusiones

Los tableros fabricados con residuos de carpintería sin adhesivos no alcanzan los valores requeridos en las normas europeas y españolas para ser clasificados como tipo

P1. Podrían utilizarse como paneles aislantes. La temperatura de fabricación utilizada (110°C) no es suficiente para obtener tableros mecánicamente más resistentes con este material y proceso.

Los tableros fabricados con un 10% de almidón se pueden clasificar como tipo P2 (aplicaciones de interior, incluyendo fabricación de mobiliario) tras 3 y 4 ciclos de prensado, siendo más resistentes con el tamaño de partícula de 0.25 a 1 mm. Se podrían obtener mayores aplicaciones, llegando a ser estructurales, si se añadiera algún producto hidrófugo en su fabricación, que impidiese la absorción de agua y redujera, de esta forma, el hinchamiento en espesor.

Bibliografía

- Ciannamea, E.M., Stefani, P.M, Ruseckaite, R.A. 2010. Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives. *Bioresour Technol.* 101, 818-825.
- El-Wakil, N.A., Abou-Zeid, R.E., Fahmy, Y., Mohamed, A.Y. 2007. Modified wheat gluten as a binder in particleboard made from reed. *J. Appl Polym Sci.* 106(6), 3592-3599.
- Ferrández-García C.E., Andreu-Rodríguez J., Ferrández-García M.T., Ferrández-Villena M., García-Ortuño T. 2012. Panels made from giant reed bonded with non-modified starches. *BioRes.* 7(4), 5904-5916.
- Ferrández-García M.T., Ferrández-García C.E., Andreu-Rodríguez J., Ferrández-Villena M., García-Ortuño, T. 2013. The suitability of utilising cotton stalk for low cost binderless panels. *Actual Tasks on Agricultural Engineering. Proc. of the 41 International Symposium on Agricultural Engineering. Opatija, Croatia.* 383-387.
- Imam, S.H., Gordon, S.H., Mao, L., Chen, L. 2001. Environmentally friendly wood adhesive from a renewable plant polymer: Characteristics and optimization. *Polym Degrad Stab.* 73(3), 529-533.
- Moubarik, A., Allal, A., Pizzi, A., Charrier, F., Charrier, B. 2010. Preparation and mechanical characterization of particleboard made from maritime pine and glued with bio-adhesives based on cornstarch and tannins. *Maderas: Ciencia y Tecnología.* 12(3), 189-197.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
- UNE-EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. Madrid. España.
- UNE-EN 317. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. Madrid. España.
- UNE-EN 319. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid. España.
- UNE-EN 323. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.
- UNE-EN 326-1. 1995. Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 1: Muestreo y despiece de probetas y expresión de los resultados. Madrid. España.
- Wang, Z., Gu, Z., Hong, Y., Cheng, L., Li, Z. 2011. Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles. *Carbohydr Polym.* 86(1), 72-76.
- Zhang, D., Zhang, A., Xue, L. 2015. A review of preparation of binderless fiberboards and its self-bonding mechanism. *Wood Sci Technol.* DOI 10.1007/s00226-015-0728-6.

C05 - Estudio de las propiedades de placas de cemento mejoradas con almidón.

Ferrández-García, M.T.¹, García-Ortuño, T.¹, Ferrández-Villena, M.¹, Andreu-Rodríguez, J.¹, Ferrández-García, C.E.².

¹ Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), tgarcia@umh.es; m.ferrandez@umh.es; mt.ferrandez@umh.es; jandreu@umh.es ² Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es

Resumen

Los aditivos orgánicos han sido ampliamente utilizados en el hormigón y el mortero de cemento durante décadas, ya que les confieren propiedades específicas y avanzadas necesarias durante el proceso de construcción. Estos aditivos pueden ser biopolímeros nativos (almidón) o polímeros sustituidos (éteres de celulosa). Los morteros de recubrimiento requieren valores de retención de agua de al menos el 95% para facilitar la proyección a alta velocidad. Para obtener este valor se utilizan con frecuencia los polisacáridos, que pueden ser igualmente clasificados como agentes reductores de agua y retardantes del fraguado. El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades de paneles de pequeño espesor fabricados utilizando cemento portland tipo CEM II/B-LL 32.5N, almidón de patata y agua con distintas proporciones (1:1:1; 2:1:1 y 2:0.5:1). Se fabricaron 28 paneles en una prensa de platos calientes a una temperatura de 100°C con una presión de 2.6 MPa durante 1 hora. A los 28 días se determinaron las siguientes propiedades: densidad, resistencia a flexión y módulo de elasticidad en flexión, cohesión interna, hinchamiento en espesor a las 2 y 24 horas de inmersión en agua y porcentaje de absorción de agua a las 2 y 24 h. Se concluye que los tipos 2:1:1 y 2:0.5:1 tienen una densidad y comportamiento similar, en cambio el tipo 1:1:1 tiene menor densidad y valores de resistencia a flexión mayores (27.93 N/mm²), menor cohesión interna (0.56 N/mm²), y menor hinchamiento en espesor (10.58%) y absorción de agua (14.36%) después de 24 h de inmersión en agua.

Palabras clave: Fécula de patata, panel, propiedades mecánicas, hinchamiento en espesor.

Study of the properties of cement plates improved by adding starch

Abstract

Organic additives have been widely used in concrete and cement mortar for decades due to their specific and advanced properties that are needed during the construction process. These additives may be native biopolymers (starch) or substituted polymers (cellulose ethers). Coating mortars require water retention values of at least 95% to facilitate high-speed projection. In order to achieve this value polysaccharides are often used, which may be also classified as water reducing agents and set retarders. The objective of this study was to analyse the properties of panels of small thickness made using Portland cement CEM II / B-LL type 32.5N, potato starch and water at different ratios (1:1:1; 2:1:1 and 2:0.5:1). A total of 28 panels were manufactured in a hot platen press at a temperature of 100°C with a pressure of 2.6 MPa for 1 hour. After 28 days the following properties were determined: density, flexural strength and flexural modulus of elasticity, internal bonding strength, thickness swelling at 2 and 24 hours immersion in water and water absorption percentage at 2 and 24 h. It can be concluded that panel types 2:1:1 and 2:0.5:1 behave similarly in terms of density and strength, whereas the type 1:1:1 has a lower density value and higher strength values of bending (27.93 N/mm²), a lower internal bonding strength (0.56 N/mm²) and a lower values of thickness swelling (10.58%) and water absorption (14.36%) after 24 hours of immersion in water.

Keywords: potato starch, panel, mechanical properties, thickness swelling.

Introducción

Los aditivos orgánicos han sido ampliamente utilizados en el hormigón y el mortero de cemento durante décadas, ya que les confiere propiedades específicas y avanzadas,

necesarias durante el proceso de construcción. Estos aditivos pueden ser biopolímeros nativos (almidón) o polímeros sustituidos (éteres de celulosa). Los morteros de recubrimiento requieren valores de retención de agua de al menos el 95% para facilitar la proyección a alta velocidad. Para obtener este valor se utilizan con frecuencia los polisacáridos, que pueden ser igualmente clasificados como agentes reductores de agua y retardantes del fraguado (Peschard *et al.*, 2004, 2006).

Dewacker y Mcad, (1996) sugirieron que una mezcla de polisacáridos tales como celulosa y almidón eran un buen agente de retención de agua. Estos aditivos son también agentes retardantes del fraguado, mejoran el tiempo de trabajabilidad y modifican la hidratación del cemento.

El almidón se ha estudiado para aligerar el hormigón. El hormigón aligerado es importante comercialmente debido a su baja conductividad térmica y acústica. Glenn, Miller y Orts (1998) mostraron que el hormigón aligerado, basado en la mezcla con almidones, era más económico que los hormigones de densidad similar que usaron perlita como agregados. Igualmente Glenn *et al.* (1999) demostraron que la densidad del hormigón disminuyó durante el curado y secado; posteriormente el agua retenida por el gel de almidón emigró al exterior del hormigón, donde se evaporó. También encontraron que la fuerza de compresión era menor con la adición de gel de almidón que con perlita.

El objetivo de este estudio fue fabricar paneles de recubrimiento que trabajen a flexión, analizar las propiedades de los paneles de pequeño espesor obtenidos de cemento con almidón de patata y evaluar la influencia de la adición del almidón al cemento.

Material y Métodos

El material utilizado fue cemento portland tipo CEM II/B-LL 32,5N, almidón de patata y agua, con distintas dosificaciones (1:1:1; 2:1:1 y 2:0.5:1). Los paneles se fabricaron en una prensa de platos calientes, sometiéndolos a una presión de 2.6 MPa, a una temperatura de 100°C y tiempo una hora. El proceso de elaboración está basado en ensayos previos realizados por los autores, ya que no existe en la literatura consultada este tipo de paneles.

Se fabricaron 21 paneles (7 con cada composición) y a los 28 días se determinaron sus propiedades. En función de la dosificación, los porcentajes de cada uno de los componentes de la mezcla fueron los que se indican en la tabla 1.

Tabla1. Porcentajes de cada componente inicial de las placas de cemento/almidón.

Cemento: Almidón:		% Cemento	% Almidón	% Agua
	Agua			
1:1:1		33.30	33.30	33.30
2:0.5:1		57.14	14.29	28.06
2:1:1		50.00	25.00	25.00

Los ensayos de laboratorio se realizaron conforme a las normas españolas y europeas aplicadas a los tableros de partículas, tableros de madera-cemento y paneles de fibra con yeso.

Las propiedades que se evaluaron fueron: densidad según la norma UNE-EN 323, 1994; hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua, según la norma UNE-EN 317, 1994; resistencia a flexión (módulo de ruptura y módulo de elasticidad) según la norma UNE-EN 310, 1994; y cohesión interna o resistencia a tracción, según la norma UNE-EN 319, 1994.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0 realizando el análisis de la varianza (ANOVA) de los valores medios obtenidos en cada panel, para ver si las diferencias eran significativas y la desviación estándar de las medias de los valores de cada parámetro. Para comparar las diferencias entre los tipos de tableros se utilizó el test de Duncan ($P < 0.05$).

Resultados y Discusión

Las placas obtenidas tuvieron un espesor de entre 3.1 y 3.2 mm. La densidad varió desde 1578 hasta 1921 kg/m³. Los valores de densidad fueron dependientes estadísticamente del tipo de material utilizado, lo que indica la fuerte dependencia de la proporción de cemento que se usó en la mezcla.

Los resultados obtenidos después de someter las probetas al test de hinchamiento en espesor (TS) (tras 2 y 24 horas de inmersión en agua) y la absorción de agua (WA) (tras 2 y 24 horas de inmersión en agua), indican que los paneles que se hinchan menos son los que más almidón contenían, en cambio los paneles que absorben menos agua son los que mayor proporción de agua usaron en la mezcla.

Los valores medios de las propiedades físicas se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 2. Propiedades físicas de las placas de cemento/almidón

Cemento: Almidón: Agua	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	TS 2h	TS 24h	WA 2h	WA 24h
1:1:1	3.1 (0.3)	1578.9 ^a (89.1)	5.79 ^a (0.72)	10.58 ^a (0.80)	9.67 ^a (0.58)	14.36 ^a (1.18)
2:0.5:1	3.1 (0.2)	1921.0 ^b (50.1)	10.44 ^b (0.86)	11.50 ^a (0.51)	18.48 ^b (1.23)	29.77 ^b (0.88)
2:1:1	3.2 (0.2)	1813.7 ^b (29.1)	17.93 ^c (1.03)	28.06 ^b (1.97)	19.41 ^b (1.15)	36.71 ^c (1.53)

() Desviación estándar; ^{a, b, c} Duncan ($P < 0.05$); TS: porcentaje de hinchamiento en espesor tras 2 y 24 horas de inmersión en agua; WA: porcentaje de absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión.

En la figura 1 se observa que el porcentaje de hinchamiento en espesor (TS) a las 24 horas no depende del porcentaje de almidón en la dosificación, ni del cemento. La mayor influencia se debe al agua añadida a la dosificación. Igualmente sucede con la absorción de agua.

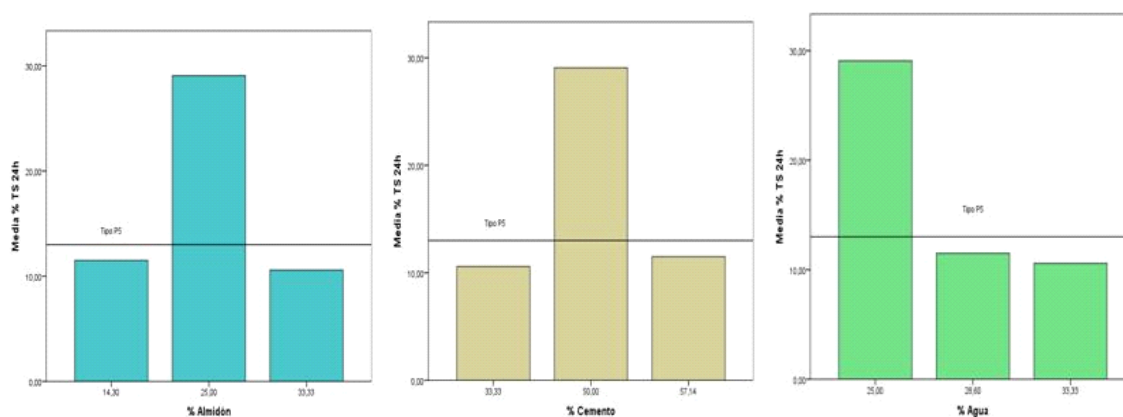


Figura 1. Porcentaje hinchamiento en espesor (TS) en función de los componentes.

Es posible que en las dosificaciones con mayor cantidad de cemento, el almidón no dispusiese de agua suficiente para gelificar y al sumergir las placas en el agua, el almidón no gelificado la absorbieran y posteriormente se hinchase.

Los valores de las propiedades mecánicas obtenidos se muestran en la tabla 3. El valor del módulo de ruptura (MOR) varió entre 17.06 y 27.93 N/mm² lo que indica que se obtiene un mayor valor cuanto mayor es la proporción de almidón y agua. El valor del módulo de elasticidad (MOE) varió desde 3773 hasta 4592 N/mm² no habiendo diferencias significativas entre las distintas dosificaciones.

Los valores de cohesión interna (IB) variaron entre 0.57 y 1.22 N/mm², dependiendo de la proporción de cemento en la dosificación.

Tabla 3. Propiedades Mecánicas de las placas de cemento/almidón.

Cemento: Almidón: Agua	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
1:1:1	27.93 ^a	4355.5 ^a	0.57 ^a
	(3.24)	(221.4)	(0.09)
2:0.5:1	17.06 ^b	4592.3 ^a	1.02 ^b
	(1.09)	(156.6)	(0.08)
2:1:1	18.50 ^b	3773.3 ^a	1.22 ^b
	(2.06)	(194.8)	(0.03)

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidad; IB: Cohesión interna.

(): Desviación estándar; ^{a, b, c} Duncan ($P < 0.05$);

Si observamos los resultados de la resistencia a flexión (MOR), en función del porcentaje de sus componentes iniciales, como indica la figura 2, aumenta el valor conforme mayor es la proporción de almidón y agua en la dosificación y no se observa la influencia del contenido de cemento.

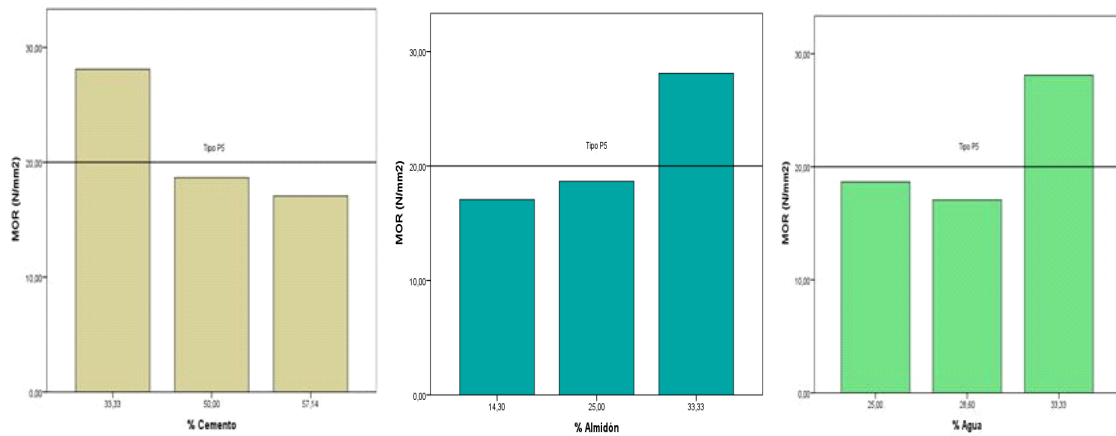


Figura 2. Resistencia a flexión (MOR) en función de la proporción de sus componentes.

El módulo de elasticidad en flexión (MOE) como se puede observar en la figura 3, tiene valores altos y no depende de ninguno de los componentes, según el test de Duncan, no hay diferencias significativas entre ellos.

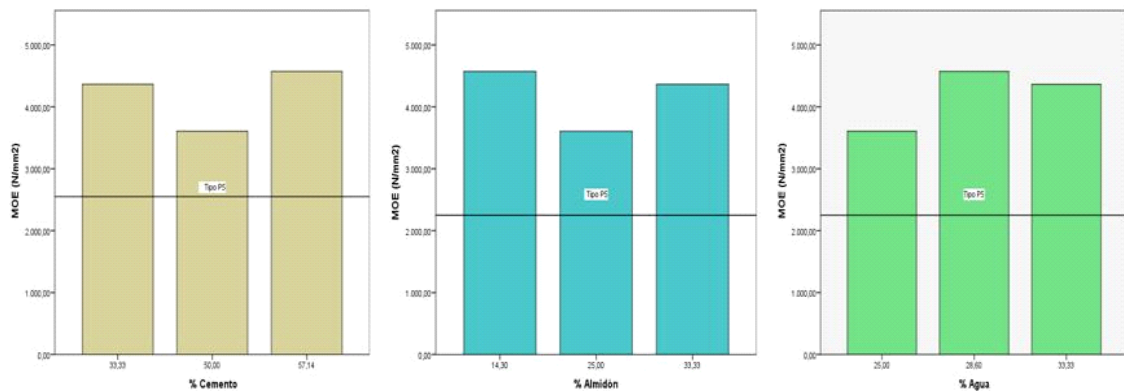


Figura 3. Módulo de elasticidad en flexión (MOE) en función de la proporción de sus componentes.

Si observamos los resultados de la cohesión interna (IB), en función del porcentaje de sus componente, (ver figura 4), aumenta el valor conforme menor es la proporción de agua en la dosificación y mayor el contenido de cemento.

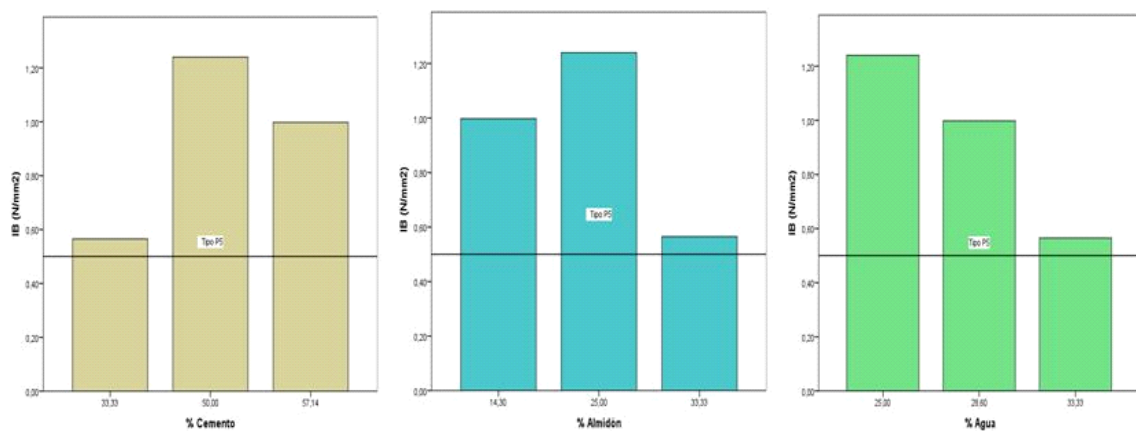


Figura 4. Cohesión interna (IB) en función de la proporción de sus componentes.

El almidón ha sido utilizado por otros autores (Peschard *et al.*, 2004, 2006, Glenn *et al.* 1998, 1999) como aditivo del cemento en forma de gel y en este trabajo la adición ha sido en sólido y se observa que se produce la gelificación del almidón en el proceso de presión y calor, con adición de agua.

Dewacker y Mcad, 1996, utilizaron el almidón como retardante del fraguado del hormigón y en este trabajo debido a que se le somete a presión y calor, los resultados parecen indicar que se acelera.

Conclusiones

Los tableros obtenidos tienen buenas propiedades para ser utilizados como recubrimiento, teniendo mejores características aquellos cuya dosificación es 1:1:1 (o sea todos los componentes a partes iguales), debido a que tienen menor densidad e hinchamiento en espesor en agua, y valores altos de MOR y MOE.

El porcentaje de agua inicial es un componente muy importante en las propiedades de las placas, por lo que tendría que ser investigado para obtener paneles con mejores propiedades.

El proceso realizado para fabricar paneles que trabajen a flexión, parece ser adecuado, aunque tendrían que ajustarse la presión, temperatura y tiempo y las distintas dosificaciones de cemento, almidón y agua.

Bibliografía

- Dewacker, D.R., Mcad, B. 1996. Cement mortar systems using blends of polysaccharides and cold-water-soluble unmodified starches, US Patent 5 575 840.
- Glenn, G.M., Miller, R.M., Orts, W.J. 1998. Moderate strength lightweight concrete from organic aquagel mixtures. *Industrial Crops and Products*. 8 (2), 123–132.
- Glenn, G.M., Gray, G.M., Orts, W.J., Wood, D.W. 1999. Starch-based lightweight concrete: effect of starch source, processing method, and aggregate geometry. *Industrial Crops and Products*. 9 (2), 133–144.
- Peschard, A., Govin, A., Grosseau, P., Guilhot, B., Guyonnet, R. 2004. Effect of polysaccharides on the hydration of cement pastes at early ages. *Cement and Concrete Research*. 34, 2153–2158.
- Peschard, A., Govin, A., Pourchez, J., Fredon, E., Bertrand, L., Guilhot, B. 2006. Effect of polysaccharides on the hydration of cement suspension. *Journal of the European Ceramic Society*. 26, 1439–1445.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
- UNE-EN 317. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. Madrid. España.
- UNE-EN 319. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid. España.
- UNE-EN 323. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.

C06 - Aprovechamiento de la biomasa generada en la poda de los frutales: comparativa entre cítricos y *Prunus* sp.

Ferrández-García, C.E.¹ García-Ortuño, T.², Ferrández-Villena, M.², Andreu-Rodríguez, J.², Ferrández-García, M.T.²

¹ Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es ; ² Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), tgarcia@umh.es; m.ferrandez@umh.es; mt.ferrandez@umh.es; jandreu@umh.es

Resumen

La superficie total europea destinada a cultivos agrícolas ocupa 172 485 050 ha (Eurostat 2011), siendo España el segundo Estado comunitario, tan solo por detrás de Francia, en cuanto a extensión dedicada a agricultura, con una superficie de unos 25 millones de hectáreas. La actividad agraria genera gran cantidad de biomasa que no suele ser reutilizada. En la Comunidad Valenciana la biomasa procedente de residuos agrícolas representa alrededor de 1 111 100 toneladas anuales. Tradicionalmente, la forma de eliminación de estos residuos ha sido mediante la quema en campo abierto. Esta práctica supone un coste medioambiental ya que constituye una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este trabajo fue aprovechar la biomasa producida en la poda de naranjos (*Citrus aurantium* L.), melocotoneros (*Prunus persica* L.) y albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L.), para fabricar nuevos productos sostenibles como son los tableros de partículas, contribuyendo de esta forma a minimizar el uso de la madera natural, y evitar la quema. Se determinaron el módulo de resistencia a la rotura en flexión, el módulo de elasticidad, y el hinchamiento en espesor, siguiendo las normas europeas y españolas aplicables a tableros de partículas de madera. Se puede concluir que los tableros obtenidos con partículas de naranjo alcanzan, en general, valores superiores de resistencia a flexión, mientras que los tableros de melocotonero y albaricoquero tienen mejor cohesión interna. Los primeros se pueden clasificar como tipo P2, utilizables para aplicaciones de interior y fabricación de mobiliario. Los segundos se pueden utilizar en ambiente seco para usos generales (tipo P1).

Palabras clave: Residuos agrícolas, valorización, tablero aglomerado, naranjo, melocotonero.

Use of the biomass generated by pruning fruit trees for particleboard: comparison between *Citrus* sp. and *Prunus* sp.

Abstract

The European total area devoted to crops occupies 172 485 050 ha (Eurostat 2011), being Spain the second EU Member State, just behind France in terms of area dedicated to agriculture, with an area of about 25 million hectares. Agricultural activity generates lots of biomass not usually reused. In Valencian Community biomass from agricultural residues accounts around 1 111 100 tons annually. Traditionally, the method of disposal of such waste has been burning it in open field. This practice represents an environmental cost since it constitutes an important source of emissions of greenhouse gases. The aim of this study was to exploit the biomass produced during the process of pruning orange trees (*Citrus aurantium* L.), peach trees (*Prunus persica* L.) and apricot trees (*Prunus armeniaca* L.), to make new sustainable products such as particle boards, thus helping to minimize the use of natural wood and avoid burning. Physical and mechanical properties of the particle boards manufactured were determined, namely the modulus of rupture in bending, modulus of elasticity, and thickness swelling, following the European and Spanish Standards applicable to wood particleboards. It can be concluded that the boards obtained with orange particles reach generally higher values of flexural strength, while peach and apricot boards have better internal bonding strength. The first can be classified as P2 type, used for indoor and manufacture of furniture. The latter can be used in dry environment for general uses (P1 type).

Keywords: agricultural waste, valorization, chipboards, orange tree, peach tree.

Introducción

La superficie total europea destinada a cultivos agrícolas ocupa 172 485 050 ha (Eurostat 2011), siendo España el segundo estado comunitario, tan solo por detrás de Francia, en cuanto a extensión dedicada a agricultura, con una superficie de unos 25 millones de hectáreas. La actividad agraria genera gran cantidad de biomasa que no suele ser reutilizada, como rastrojos y pajas de cereales, restos de poda de cultivos leñosos, etc. En la Comunidad Valenciana la biomasa procedente de residuos agrícolas asciende entorno a unas 1 111 100 toneladas anuales. Tradicionalmente, la forma de eliminación de estos residuos ha sido mediante la quema en campo abierto. Esta práctica supone un coste medioambiental ya que constituye una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero directos (dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O)), indirectos (monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x)), y compuestos orgánicos volátiles no metano y otros gases contaminantes como el amoníaco.

Existen estudios sobre la utilización de diferentes podas de frutales como materia prima sustituta de la madera para la fabricación de tableros aglomerados. Grigoriu y Passialis (1994) estudiaron las podas de árboles frutales (manzana, melocotón, pera, albaricoque y cereza) concluyendo que la adición de más de un 50% de material procedente de podas empeoraba todas las propiedades de los tableros. Sahin y Arslan, (2013) estudiaron las podas de manzano y cerezo mezcladas con pino, concluyendo que disminuyen las propiedades físicas de los tableros y aumenta la hinchazón en espesor, comportándose peor los tableros con el 100% de partículas de podas de manzano.

El objetivo de este trabajo fue aprovechar la biomasa producida en la poda de naranjos (*Citrus aurantium* L.), melocotoneros (*Prunus persica* L.) y albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L.), para fabricar nuevos productos sostenibles como son los tableros de partículas, contribuyendo de esta forma a minimizar el uso de la madera natural, y evitar la quema.

Material y Métodos

Como materia prima para la elaboración de los tableros se utilizaron las podas de cítricos y de árboles frutales de hueso (melocotonero y albaricoquero), obtenidas de plantaciones de Murcia. Dichas podas se mantuvieron al aire hasta conseguir una humedad del 10%, posteriormente se trituraron en una desfibradora de cuchillas y después se clasificaron las partículas en una cribadora vibradora horizontal. Como resina enlazante se utilizó un 10% de urea formaldehído (UF)

Para la elaboración de los tableros el proceso utilizado fue el proceso industrial en seco definido en la norma UNE-EN 309 (2005). La temperatura de la prensa fue de 140°C. El tamaño de partículas empleado fue de 1 a 2 mm. Se hicieron 6 tableros de cada tipo con unas dimensiones aproximadas de 600x400x10 mm. Los tableros se cortaron siguiendo la norma UNE-EN 326-1 (1995) para la obtención de las correspondientes probetas de ensayos. Las propiedades evaluadas fueron densidad (según la norma UNE-EN 323, 1994), hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua (según la norma UNE-EN 317, 1994), la resistencia a flexión (módulo de ruptura y módulo de elasticidad según la norma UNE-EN 310, 1994), y la cohesión interna o resistencia a tracción (según la norma UNE-EN 319, 1994).

Para clasificar los tableros en función de sus propiedades, se utilizó la norma UNE-EN 312 (2010), aplicando los requisitos de los tableros con un rango de grosor de 6 a 13 mm.

Los datos obtenidos se sometieron a un estudio estadístico utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) de los valores medios obtenidos para cada panel para ver si las diferencias eran significativas. La desviación estándar de las medias de los valores de cada parámetro también fue determinada. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0.

Resultados y Discusión

Los tableros obtenidos tuvieron un espesor de entre 9.85 y 10.1 mm. La densidad fue de 936 kg/m³ para los tableros de cítricos y de 854 kg/m³ para los tableros de madera de *Prunus*, por lo que los tableros obtenidos se pueden considerar de densidad media. Los valores de densidad fueron dependientes estadísticamente del tipo de material utilizado.

Los valores medios del test de hinchamiento en espesor (TS) (tras 2 y 24 horas de inmersión en agua) y la absorción de agua (WA) (tras 2 y 24 horas de inmersión en agua), se pueden observar en la tabla 1. Los resultados indican que los tableros de cítricos se hinchan menos que los tableros de *Prunus*, en cambio los dos tipos de tableros absorben la misma proporción de agua.

Tabla 1. Propiedades físicas de los tableros elaborados.

Tipo	Densidad (kg/m ³)	TS 2h	TS 24h	WA 2h	WA 24h
Cítricos	936.48 (21.64)	13.93 (0.98)	24.28 (1.86)	23.73 (2.08)	42.14 (0.62)
<i>Prunus</i>	854.61 (36.93)	16.47 (0.34)	42.16 (0.959)	19.78 (0.84)	49.21 (1.03)

TS: % hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua; WA: % absorción de agua tras 24 horas de inmersión. () Desviación estándar.

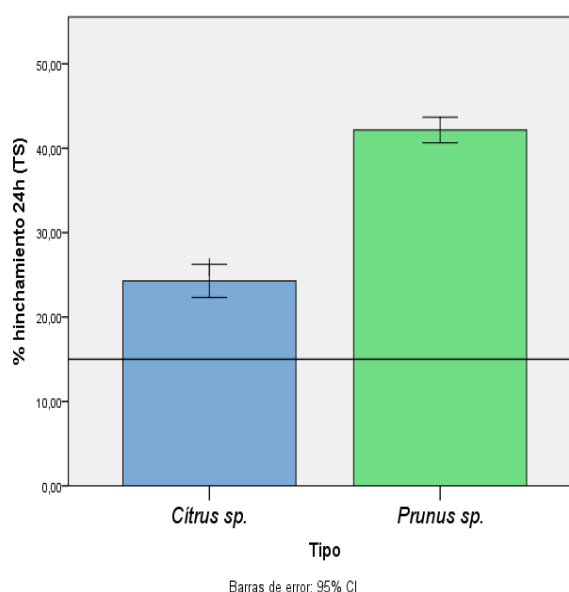


Figura 1. Porcentaje de hinchamiento en espesor después de inmersión en agua durante 24h.

En la figura 1 se observa el diferente comportamiento de los dos tipos de tableros con respecto al porcentaje de hinchamiento en espesor. Los valores obtenidos son menores que los valores de hinchamiento en espesor de otras maderas, especialmente los cítricos. La línea horizontal representa el valor mínimo requerido (16%) para tableros tipo P4, tableros estructurales. Para los tableros tipo P1 y P2 el valor de hinchamiento en espesor no se tiene en cuenta.

El porcentaje de hinchamiento a las 24 h se podría disminuir añadiendo algún tipo de cera o parafina en la elaboración de los tableros, igual que se hace en la elaboración de tableros de madera.

Los valores de las propiedades mecánicas están presentados en la tabla 2. Según la norma española y europea de los tableros de partículas (UNE-EN 312, 2010) se requieren valores mínimos de módulo de ruptura (MOR) de 12.5 N/mm² para ser considerados tableros de uso general en ambientes secos. El requerimiento para montajes de interior (incluyendo fabricación de mobiliario) es un valor mínimo de 13.0 N/mm². Para poder ser aptos para uso estructural los tableros deben poseer un MOR mínimo de 15.0 N/mm². El valor de MOR de los tableros fabricados en el presente estudio se muestra en la figura 2. Dicho valor fue de 18.45 N/mm² en los tableros de cítricos y 13.17 N/mm² de los frutales de hueso, encontrándose diferencias significativas entre los dos tipos. El valor de MOR es suficientemente elevado para alcanzar el mínimo requerido para tablero estructural (grado P5).

Tabla 2. *Propiedades Mecánicas*

Tipo	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
Cítricos	18.45 (1.43)	2308.11 (103.1)	1.45 (0.052)
<i>Prunus</i>	13.17 (0.59)	1780.53 (56.64)	1.89 (0.072)

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidad;

IB: Cohesión interna. Valores entre paréntesis:
desviaciones estándar.

El valor de Módulo de Elasticidad (MOE) (ver figura 2) de los tableros de cítricos fue de 2308.11 N/mm² y el valor de los paneles de frutales de hueso de 1780.53 N/mm². No hay un requerimiento mínimo de MOE para clasificar los tableros como aptos para usos generales (P1). Para el tipo P2 (montajes de interior incluyendo fabricación de mobiliario) el valor de MOE mínimo es de 1800 N/mm². Para tableros estructurales tipo P4 el valor de MOE ha de ser superior a 2300 N/mm² y para tableros estructurales tipo P5 un valor de 2400 N/mm², luego los tableros de cítricos serían P4 y los de frutales tipo P1, ya que no alcanzan los valores requeridos.

El valor de cohesión interna (IB), o resistencia a la tracción perpendicular a las caras (figura 3), fue de 1.45 N/mm² para los tableros de cítricos y de 1.89 N/mm² para los tableros de frutales de hueso (*Prunus*). Los dos tipos de tableros superaron el valor mínimo requerido en las normas para poder ser clasificados como estructurales, grado P4 (0.40 N/mm²) y P5 (0.45 N/mm²). Los tableros fabricados con partículas de residuos de podas de cítricos tienen en general mejores propiedades que los de *Prunus* aunque sea menor el valor de IB.

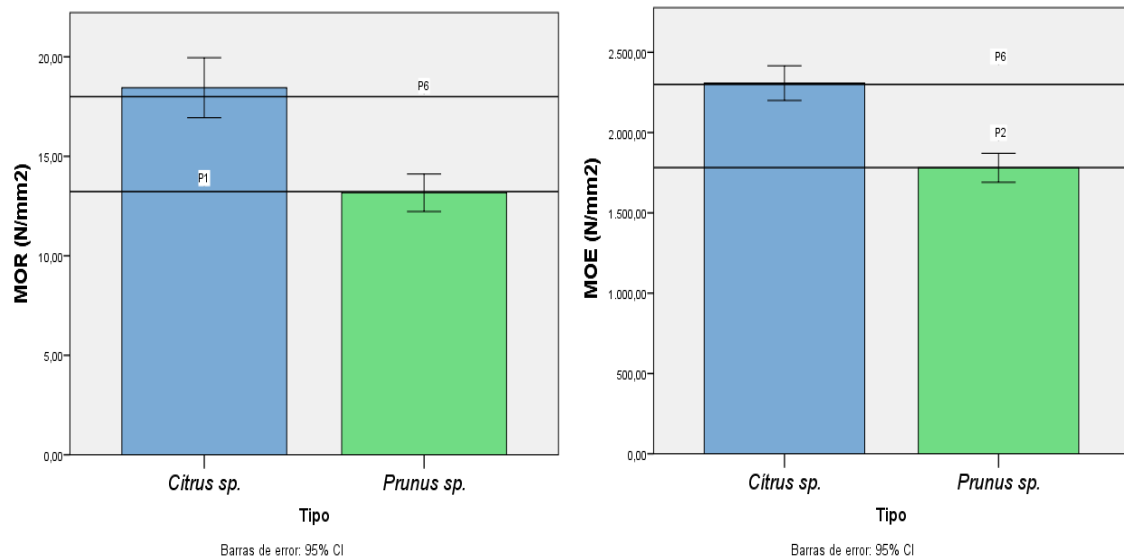


Figura 2. Valores del módulo de ruptura (MOR) y del módulo de elasticidad (MOE) en función del material.

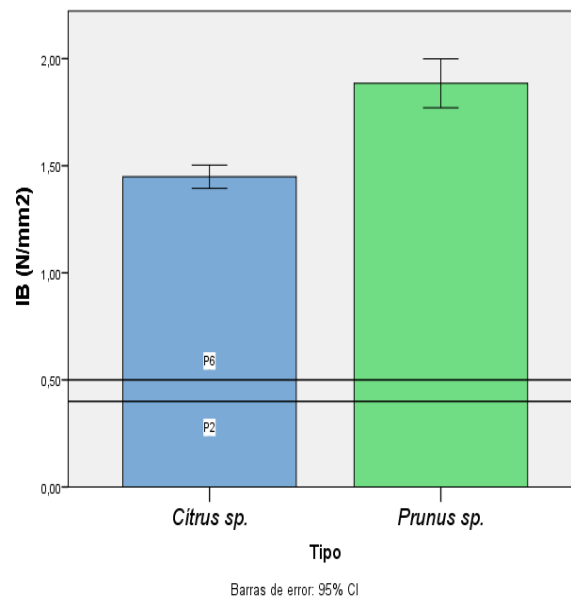


Figura 3. Valores de cohesión interna (IB) en función del material.

Para poder clasificar los tableros hay que considerar los valores de las propiedades tanto físicas (hinchamiento en espesor) como mecánicas (MOR, MOE, IB) en conjunto. Para alcanzar la clasificación de tablero estructural, los tableros deben tener un TS inferior a 16 %, por lo que habría que añadir sustancias hidrófobas en la elaboración de los tableros para disminuirlo.

Sahin y Arslan (2013) obtuvieron con mezcla de podas de cerezo y pino rojo un valor de MOR de 18.48 N/mm² y con mezcla de poda de manzano y pino 12.4 N/mm² y estos valores se han obtenido en este trabajo sin añadir partículas de pino, lo que indica que las podas de cítricos y *Prunus* se podrían utilizar para la elaboración de tableros de partículas obteniendo buenas propiedades.

Conclusiones

Los tableros obtenidos de residuos de cítricos tienen mejores propiedades físicas y mecánicas que los tableros obtenidos de frutales de hueso.

En general, los dos tipos de residuos lignocelulósicos serían de utilidad para la elaboración de tableros de partículas, alcanzando los valores de tableros tipo P1, usos generales, en el caso de los tableros de podas de frutales de hueso. Los tableros de las podas de cítricos llegarían incluso a ser estructurales, si se mejorara su hinchamiento en espesor.

Utilizar estos residuos para la fabricación de tableros de partículas supondría un beneficio ambiental.

Bibliografía

- Eurostat 2011. INEbase. Censo agrario 2009.
http://www.ine.es/inebmenu/mnu_agricultura.htm. Accedido el 21/01/2015.
- Grigoriou, A., Passialis, C. 1994. Utilization of branch wood from fruit tree plantations for particleboard production. *Holz als roh-und Werkstoff*. 52 (2), 126-130.
- Sahin, H.T., Arslan, M.B. 2013. Properties of orchard pruning and suitability for composite production. *Science and Engineering of Composite Materials*. 20 (4), 337-342.
- UNE-EN 309. 2005. Tableros de partículas. Definición y clasificación. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. AENOR Madrid. España.
- UNE-EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. AENOR Madrid. España.
- UNE-EN 317. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 319. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 323. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. AENOR. Madrid. España.
- UNE-EN 326-1. 1995. Tableros derivados de la madera. Muestreo, despiece e inspección. Parte 1: Muestreo y despiece de probetas y expresión de los resultados. AENOR. Madrid. España.

C07 - Desarrollo de bioproductos de palmera (*Phoenix canariensis*, *Washingtonia robusta*) orientados al secuestro de carbono.

Ferrández-García, C.E.¹, Ferrández-García, M.T.², Moral R.¹ Ferrández-Villena, M.², Andreu-Rodríguez, J.², García-Ortuño, T.²

¹ Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es; raul.moral@umh.es; ² Departamento de Ingeniería, Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra de Beniel Km 3,2 03312, Orihuela (Alicante), m.ferrandez@umh.es; mt.ferrandez@umh.es; jandreu@umh.es tgarcia@umh.es;

Resumen

En España, las palmeras se utilizan principalmente como plantas ornamentales en áreas urbanas, como en la mayoría de los países mediterráneos donde se cultivan palmeras. Por ello, las palmeras no pueden ser consideradas como un cultivo tradicional, con la excepción de los viveros y alguna plantación. Las dos palmeras más comúnmente utilizadas en paisajismo son la palmera canaria (*Phoenix canariensis* Hort. Ex Chavaud) y la washingtonia (*Washingtonia robusta* H. Wendt). Estas palmeras se podan hasta dos veces al año, produciendo una gran cantidad de biomasa que hasta ahora se lleva a vertedero para proceder a su eliminación. Por ello, el objetivo de este trabajo fue utilizar el raquis de la hoja de dichas palmeras con el fin de evaluar su potencial para la fabricación de tableros para el sector de la construcción. Se fabricaron tableros con tres tamaños de partículas (0.25-1, 1-2 y 2-4 mm) en la prensa de platos calientes a 140°C, 2.6 MPa durante 6 min, sin adhesivos. Posteriormente se procedió a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, tales como: densidad, resistencia a flexión y módulo de elasticidad, cohesión interna, hinchamiento en espesor, y absorción de agua. Se concluye que el comportamiento de los tableros de raquis de palmera canaria alcanza mayores valores de módulo de ruptura, módulo de elasticidad e hinchamiento en espesor que los de washingtonia. Sin embargo los tableros de washingtonia obtuvieron mejores valores de cohesión interna. El tamaño de partícula influye en todas las propiedades. Se pueden utilizar las partículas de estas palmeras para obtener tableros de partículas para usos generales y fabricación de mobiliario.

Palabras clave: Panel, propiedades mecánicas, raquis de palmera.

Development of bioproducts from Palm trees (*Phoenix canariensis*, *Washingtonia robusta*) oriented to carbon sequestration

Abstract

Palm trees in Spain, as in most of the Mediterranean Countries where palms are cultivated, are mainly used as ornamental plants in urban areas. Therefore, except in nurseries and in a few regular palm groves, palms cannot be considered as a traditional crop. Two of the most commonly used palm trees in landscaping are the Canary Island date palm (*Phoenix canariensis* Hort. Ex Chavaud) and the Mexican fan palm (*Washingtonia robusta* H. Wendt). These palm trees are pruned up to twice a year in this region, producing huge amounts of biomass that are disposed of in landfills. Therefore, the aim of this work was to use the *Washingtonia robusta* and *Phoenix canariensis* leaf rachises, in order to manufacture particleboards employed in the building sector. In this experiment, bending strength, internal bonding strength, thickness swelling, and water absorption were determined in boards manufactured by hot-pressing at 140°C, under 2.6 MPa during 6 min. It can be concluded that the behaviour of the particleboards made from the rachises of Canary Island Palm tree are better in resistance to bending and thickness swelling, while boards of *Washingtonia* obtained best values of internal cohesion. Particles from the two types of palm tree can be used to manufacture panels to be used for general uses and furniture. Particle size influenced all the properties.

Keywords: Panel, mechanical properties, palm rachis.

Introducción

En España, las palmeras se utilizan principalmente como plantas ornamentales en áreas urbanas, como en la mayoría de los países mediterráneos donde se cultivan palmeras. Por ello, las palmeras no pueden ser consideradas como un cultivo tradicional, con la excepción de los viveros y alguna plantación. Las dos palmeras más comúnmente utilizadas en la jardinería urbana son la palmera canaria (*Phoenix canariensis* Hort. Ex Chavaud) y la washingtonia (*Washingtonia robusta* H. Wendt). Estas palmeras se podan hasta dos veces al año, produciendo una gran cantidad de biomasa que hasta ahora se lleva a vertedero para proceder a su eliminación, en el caso de la gestión municipal. En los viveros y plantaciones las palmas cortadas se utilizan como mulching, trituradas o no, se depositan en el suelo entre tiras de palmeras.

Se han realizado varios estudios para obtener tableros de partículas utilizando como material distintas variedades de palmeras: palmera datilera (Hegazy y Aref, 2010, Amirou *et al.*, 2013, Saadaoui *et al.*, 2013), palmera washingtonia (García-Ortuño *et al.*, 2013), y palmera de aceite (Laemsak y Okuma, 2000, Geng Boon *et al.*, 2013, Jumhuri *et al.*, 2014). En los resultados de dichas investigaciones, se observa diferente comportamiento, en función de la variedad de la palmera y de la procedencia de las partículas utilizadas, del tronco o de la hoja.

El objetivo de este trabajo fue utilizar distintos tamaños de partículas procedentes del raquis de la hoja de la palmera canaria y de la washingtonia, con el fin de evaluar su potencial para la fabricación de tableros para el sector de la construcción.

Material y Métodos

El material utilizado fue el raquis de la hoja de las palmeras canaria y washingtonia, obtenido de las podas de palmeras de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Los raquis se mantuvieron al aire libre para su secado durante 6 meses y posteriormente se trituraron en una desfibradora de cuchillas para obtener las partículas. Después, se clasificaron las partículas en una tamizadora-vibradora, según el tamaño de tamiz en el que éstas quedaban retenidas (0.25 a 1, 1 a 2 y 2 a 4 mm).

En la elaboración se siguió el proceso industrial en seco de los tableros de partículas de madera generalizado en la industria. Las partículas se mezclaron con un 10% de urea formaldehído (UF) en una encoladora durante 5 min. Posteriormente la mezcla se vertió a mano en unos moldes de acero. Se elaboraron 30 tableros con 6 configuraciones diferentes: dos materias primas (palmera canaria y washingtonia) y tres tamaños de partícula. Los moldes se mantuvieron en la prensa de platos calientes a una temperatura de 140°C, una presión de 2.6 MPa y un tiempo de 6 min.

Los tableros tenían unas dimensiones aproximadas de 600x400x12 mm. Después de su fabricación, los paneles se dejaron enfriar en una posición vertical. Una vez fríos, se prepararon las probetas de ensayo necesarias para la caracterización de las propiedades mecánicas y físicas de cada uno de los seis tipos de tableros sometidos a estudio. Las propiedades se determinaron siguiendo las normas españolas y europeas establecidas para los tableros de partículas de madera. Se evaluaron: la densidad, según la norma UNE-EN 323, 1994; el hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua, según la norma UNE-EN 317, 1994; la resistencia a flexión (módulo de ruptura y módulo de elasticidad) según la norma UNE-

EN 310, 1994; y la cohesión interna o resistencia a tracción, según la norma UNE-EN 319, 1994.

Para clasificar los tableros en función de sus propiedades se utilizó la norma UNE-EN 312 (2010), aplicando los requisitos de los tableros con un rango de grosor de 6 a 13 mm.

De los valores medios de los ensayos se obtuvo la desviación estándar y se realizó el análisis de la varianza (ANOVA). Para comparar las diferencias entre los tipos de tableros se utilizó el test de Duncan ($P < 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0

Resultados y Discusión

Los valores medios de las propiedades físicas de los tableros obtenidos en los ensayos, se muestran en la tabla 1.

Los tableros elaborados son de media densidad. No existen diferencias significativas salvo para partículas de mayor tamaño de palmera washingtonia. El hinchamiento en espesor después de 24 h de inmersión en agua (TS) varía entre 36.77 y 49.74%, no influyendo el tipo de palmera, solo depende del tamaño de partícula. Los tableros que menos se hinchan son los fabricados con un tamaño de partículas de 1 a 2 mm. Lo mismo sucede con la absorción de agua (WA), los tableros que menos se hinchan son los que menos agua absorben después de 24 horas de inmersión. En general, las propiedades físicas no dependen de la variedad de palmera utilizada, pero sí del tamaño de partícula.

Tabla 1. Propiedades físicas los tableros de raquis de palmera.

Material	Partícula (mm)	Densidad (kg/m ³)	TS 2h	TS 24h	AW 2h	AW 24h
Canaria	0.25 a1	826.37 ^a (37.85)	37.83 ^a (5.60)	49.74 ^a (8.11)	76.14 ^a (8.77)	95.91 ^a (10.78)
Canaria	1 a 2	866.31 ^a (21.07)	25.22 ^b (2.65)	34.81 ^b (1.15)	54.31 ^c (3.90)	69.56 ^b (2.21)
Canaria	2 a 4	835.62 ^a (33.38)	32.11 ^{ab} (2.09)	39.44 ^b (2.43)	69.43 ^a (10.54)	84.49 ^{ab} (9.89)
Washingtoni a	0.25 a1	866.18 ^a (51.88)	31.58 ^{ab} (7.08)	41.20 ^a (10.00)	65.01 ^{abc} (9.48)	78.41 ^b (14.33)
Washingtoni a	1 a 2	822.28 ^a (44.26)	28.80 ^b (7.47)	36.77 ^b (5.05)	55.26 ^c (7.08)	80.04 ^{ab} (12.74)
Washingtoni a	2 a 4	763.80 ^b (48.67)	26.65 ^b (4.40)	38.90 ^b (5.84)	62.60 ^b (9.63)	66.47 ^b (23.27)

() Desviación estándar. ^{a, b, c} Duncan ($P < 0.05$). TS: Porcentaje de hinchamiento en espesor tras 2 y 24 horas de inmersión en agua. WA: Porcentaje de absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión.

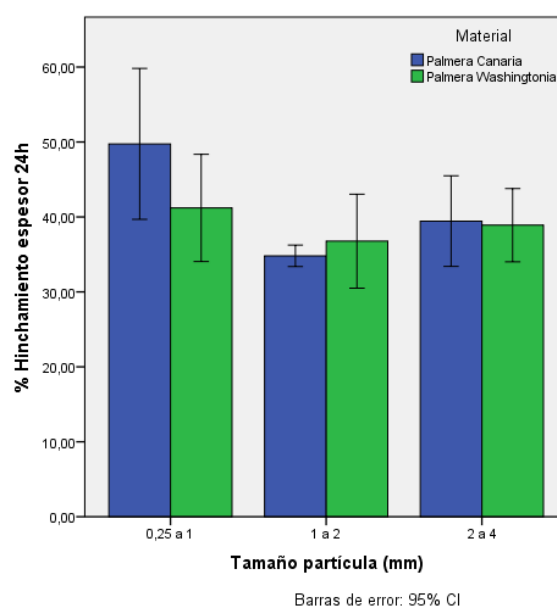


Figura 1. Porcentaje de hinchamiento en espesor (TS) después de 24 h en agua en función de la partícula.

Como se observa en la figura 1, los tableros que menos se hinchan son los de tamaño de partícula de 1 a 2 mm para los dos materiales.

Los valores medios de las propiedades mecánicas de los tableros se muestran en la tabla 2.

Los valores de resistencia a flexión o módulo de ruptura (MOR) son mayores en los tableros de palmera canaria (12.77, 19.85 y 12.68 N/mm²) que los obtenidos con palmera washingtonia (16.73, 12.14 y 7.25 N/mm²). El análisis estadístico indica que este valor depende del tipo de palmera y del tamaño de partícula utilizada. El módulo de elasticidad (MOE) también depende del tipo de palmera y del tamaño de partícula, obteniendo un máximo de 2018.63 N/mm² con partículas de 1 a 2 mm con partículas del raquis de palmera canaria. Los valores de IB son altos (desde 0.71 hasta 1.05 N/mm²), siendo mayores en los tableros de palmera washingtonia. La resistencia a tracción (IB) depende solamente del tamaño de partícula empleado. Los valores más altos se obtienen con partículas de 1 a 2 mm.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los tableros de raquis de palmera

Material Pal.	Partícula (mm)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
Canaria	0.25 a 1	12.77 ^b (0.50)	1447.16 ^c (119.82)	0.71 ^a (0.10)
Canaria	1 a 2	19.85 ^d (1.83)	2018.63 ^d (106.11)	0.97 ^b (0.14)
Canaria	2 a 4	12.68 ^b (1.35)	1373.56 ^c (87.24)	0.72 ^a (0.08)
Washingtonia	0.25 a 1	16.73 ^c (2.38)	1469.78 ^c (189.08)	0.90 ^b (0.17)
Washingtonia	1 a 2	12.14 ^b (1.05)	1174.19 ^b (226.60)	1.05 ^b (0.06)
Washingtonia	2 a 4	7.25 ^a (0.34)	657.98 ^a (53.06)	0.99 ^b (0.13)

MOR: Módulo de Ruptura. MOE: Módulo de Elasticidad. IB: Cohesión interna.

Valores entre paréntesis: Desviación estándar. ^{a, b, c} Duncan (P<0.05)

Atendiendo a la norma europea UNE-EN 312 (2010), los tableros se clasifican según sus propiedades físicas y mecánicas, desde un nivel inicial llamado tipo P1, para usos generales en interior, hasta el tipo P7 tablero estructural. Los requisitos para tablero tipo P1 son un MOR de 12.5 N/mm² y un IB de 0.28 N/mm². Como se muestra en la figura 2, los tres tipos de tablero de palmera canaria serían válidos clasificados como P1 o superior, en cambio con palmera washingtonia solo se clasificarían los tableros fabricados con partículas de 0.25 a 1 mm.

Los requisitos para tablero tipo P2 son un valor de MOR igual o superior a 13 N/mm², un MOE mínimo de 1800 N/mm² y un IB de 0.40 N/mm². Los tableros de partículas de 1 a 2 mm de palmera canaria se clasificarían como tableros tipo P2. Los tableros de washingtonia fabricados con partículas de 0.25 a 1 mm superan el valor de MOE e IB pero no el de MOE.

El tipo P4 tiene unos requisitos mínimos de MOR de 16 N/mm², un MOE de 2300 N/mm² y un IB de 0.45 N/mm². Los tableros de palmera canaria fabricados con el tamaño de partícula de 1 a 2 superan el MOR (19.85 N/mm²) y el IB 0.97 (N/mm²) pero no superan el MOE (2018 N/mm²). Lo mismo ocurre con los tableros de palmera washingtonia con partículas de 0.25 a 1 mm.

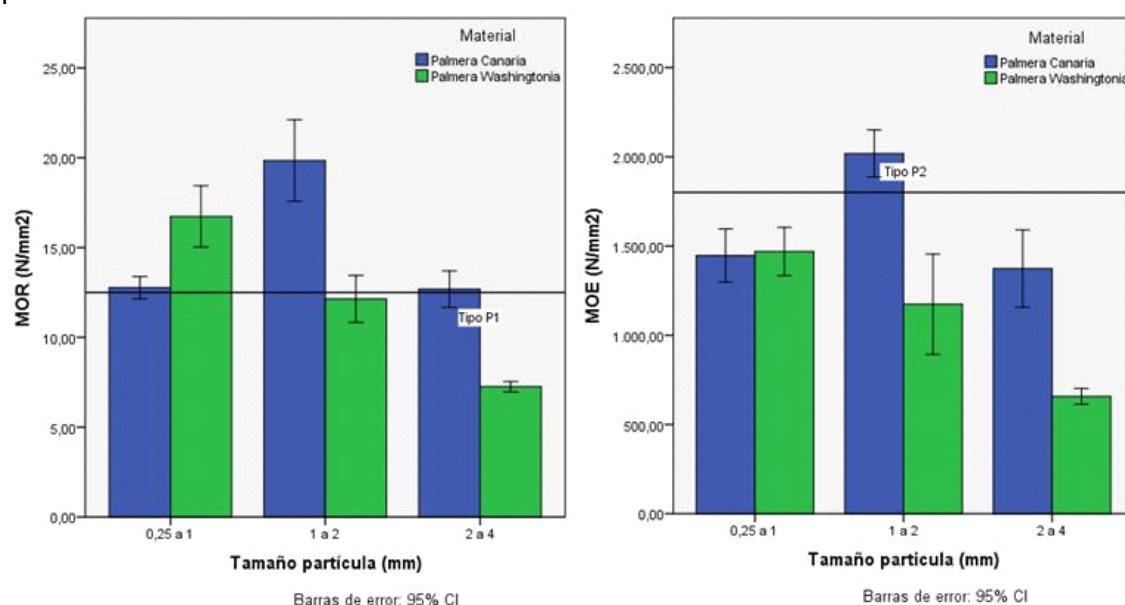


Figura 2. Módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) en función del tipo de palmera y tamaño de partícula.

Hegazy y Aref, (2010), con raquis de palmera datilera (con un 10 % UF) obtuvieron un MOR de 13.4 N/mm², MOE de 2018 N/mm², IB 0.53 N/mm², TS 21.7% y WA 38.4%, lo que indica que con raquis de palmera canaria se obtienen mejores propiedades mecánicas.

Conclusiones

Con el raquis de las palmas de las palmeras se pueden obtener tableros de partículas con propiedades similares a los tableros de madera que se comercializan en la actualidad. En general, en este estudio, los tableros de palmera canaria tienen mejores propiedades mecánicas que los tableros de palmera washingtonia.

El tamaño de partícula con el que se obtienen mejores propiedades es de 1 a 2 mm en palmera canaria y de 0.25 a 1 mm en palmera washingtonia.

La utilización de estos residuos para fabricar productos con una larga vida útil, como son los tableros de partículas, supondría un beneficio ambiental ya que supondría un medio de fijación de carbono, ayudando de esta manera a disminuir el CO₂ atmosférico.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del MINECO a través del Programa Retos, proyecto AGL2013-41612-R.

Bibliografía

- Amirou, S. Zerizer, A., Pizzi, A., Haddadou, I., Zhou, X. 2013. Particleboards production from date palm biomass. *Eur J. Wood Prod.* 71, 717-723.
- García-Ortuño, T., Andreu-Rodríguez, J., Ferrández-García, M.T., Ferrández-García, C.E., Perez-Murcia, M.D., Moreno-Caselles J. 2013. Evaluation of the Different Uses of *Washingtonia robusta* Pruning Waste. *Communications in soil science and plant analysis.* 44 (1-4), 623-631.
- Geng Boon, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S. Sugimoto, T., Sato, M. 2013. Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard. *Eur J. Wood Prod.* 71, 583–589.
- Hegazy, S.S., Aref, I.M. 2010. Suitability of Some Fast-Growing Trees and Date Palm Fronds Particleboard productions. *Forest Prod J.* 60 (7/8), 599–604.
- Jumhuri, N., Hashim, R., Sulaiman, O., Noor-Aidawati, W., Salleh, K.M., Saharudin, N.I., Razali, M.Z. 2014. Effect of treated particles on the properties of particleboard made from oil palm trunk. *Materials and Design.* 64, 769-774.
- Laemsak, N., Okuma M., 2000. Development of boards made from oil palm frond II: properties of binderless boards from steam-exploded fibers of oil palm frond. *J. Wood Sci.* 46, 322-326.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
- UNE-EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. Madrid. España.
- UNE-EN 317. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. Madrid. España.
- UNE-EN 319. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid. España.
- UNE-EN 323. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.
- Saadaoui, N., Rouilly, A., Fares, K., Rigal, L. 2013. Characterization of date palm lignocellulosic by-products and self-bonded composite materials obtained thereof. *Materials and Design.* 50, 302-308.

C08 - Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia de los áridos convencionales en las propiedades resistentes.

Laserna Arcas, S.¹; Montero Martínez, J.¹, Cervera Gascó, J.¹,

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Castilla La Mancha. Campus universitario s/n 020071, Albacete. España. santiago.laserna@uclm.es, jesus.montero@uclm.es, jorge.cervera@uclm.es

Resumen

Pese a que la utilización del hormigón con áridos reciclados está permitida en la normativa que rige el comportamiento estructural de hormigón en España, EHE-08, su utilización como material estructural no acaba de cuajar en nuestro país. La sensación de que un material reciclado penaliza las propiedades resistentes del hormigón, así como el desconocimiento sobre el manejo de estos materiales respecto a los convencionales, son los principales factores que declinan su uso. Sin embargo, no se repara en comparar el reciclado frente a las fuentes de materias primas naturales disponibles, pudiendo encontrar casos donde el material reciclado aporte mejoras resistentes frente a los convencionales. En este sentido, esta comunicación expone las diferencias existentes en la fabricación de hormigones reciclados utilizando dos tipologías de áridos naturales: Árido Rodado (ANR) y Árido Triturado (ANT). La experimentación presta especial atención al manejo del estado de humedad inicial de cada fracción granulométrica. Las dosificaciones se realizan manteniendo la cantidad de agua libre en la mezcla para las diferentes series. Así, se fabricaron 20 variantes en las que se utiliza una relación Agua/Cemento (A/C) efectiva igual a 0,5, con cantidades de cemento de 260-300-340 kg/m³, para conseguir mezclas con hundimiento 6-9cm en cono de Abrams, para en modalidades ANR y ANT, aplicando tasas de sustitución de árido grueso reciclado de 0-20-50-100%. Los resultados muestran cómo el comportamiento en estado fresco con ambos áridos es similar, pero las propiedades resistentes del hormigón endurecido son diferentes para cada uno de ellos. En ANR se obtienen aumentos de resistencia a compresión de hasta un 15%, mientras que el ANT presenta una disminución de 10-25% pudiendo ser compensado con un incremento de cemento. En cualquier caso, tasas de hasta el 50% de reciclado no presentan diferencias significativas respecto al hormigón convencional, incluso para el 100% dependiendo de la cantidad de cemento utilizada.

Palabras clave: A/C efectiva, dosificación, manejo de áridos, humedad inicial.

Manufacturing of Concrete with Recycled Aggregates. The influence of Natural aggregates on the strength properties.

Abstract

Although the use of concrete with recycled aggregates is allowed by the standard governing the structural concrete behaviour on Spain, EHE-08, application as structural material does not end to fit in this country. The feeling that a recycled material penalizes the strength properties of concrete, as well as the unknown about the management of these materials against the conventional ones are the principal factors that conditioning its use. However, in so many cases the comparison between the recycled materials with the different sources of natural raw materials is not taken into account, may find situations where recycled materials provide improvements on the strength properties of the concrete over the conventional ones. On this way, this document expose the differences found on the concrete manufacture using two different types of natural aggregates: River aggregates (ANR) and crushed aggregates (ANT). The experimental method took special attention in the management of the initial humidity state of each aggregates sizes. The mix was designed keeping free water constant between all series. Thus, 20 different mixes were analysed on both modes: ANR & ANT. Effective Water/cement ratio (A/C) was 0,5, with cement contents of 260-300-340 kg/m³ to get a slump between 6-9 cm in Abrams cone, using following recycled rates of coarse aggregates: 0-20-50-100%. Results show that the behaviour of the concrete on fresh state was similar for all of them, but the strength on hardened specimens depends on the type of natural aggregate used. So, it was found an increment up to 15% on compressive strength in ANR, while the specimens manufactured with ANT got a decrease of about 10-25% in similar mix conditions, but could be offset with an increment of the cement content of the mix. In any case, up to 50% of replacement rates do not show special differences with respect to conventional concrete, even to 100% depending on the cement rates.

Keywords: effective W/C, mix proportions, aggregates management, initial humidity state

Introducción

Enmarcados en las directrices Europeas, la concienciación de la sociedad sobre la gestión de los residuos es cada vez mayor en nuestro país, de manera que la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) ha crecido de forma importante en los últimos años. Sin embargo, pese a estar gestionados, la tasa de reutilización de estos materiales son muy bajas, perdiendo en gran medida la oportunidad de poder ser utilizadas de nuevo con múltiples fines, con el consiguiente ahorro económico y medioambiental.

Una de estas salidas al material contempla la posibilidad de ser reutilizado, bajo determinadas restricciones, como áridos para la fabricación de hormigón estructural, y por ello se recoge esta posibilidad en la Normativa referencia en España (EHE-08, 2008). Sin embargo, la facilidad de extracción de materiales naturales, unido a la sensación de que un material reciclado penaliza las propiedades resistentes del hormigón resultante y al desconocimiento sobre el manejo de estos materiales induce a declinar su uso para esta finalidad.

Sobre esta sensación de penalización, múltiples autores que investigan la aptitud del hormigón reciclado concluyen que las propiedades resistentes del mismo se ven reducidas en torno a un 15-35% respecto a un hormigón convencional (ACHE, 2006; González, 2002). Sin embargo, también existen experiencias donde la fabricación de hormigón reciclado obtiene resultados similares e incluso superiores a los del hormigón convencional como las obtenidos por Malešev, Radonjanin, y Marinković (2010), Razaqpur *et al.* (2010) o Younis y Pilakoutas (2013). González (2002) y Gómez Vázquez y Agullo, (2001), indican que el nivel de resistencia final se debe a la calidad del hormigón de origen con el que se fabrican los áridos reciclados para su reutilización. Sin embargo, no se suele reparar en la influencia que suponen los diferentes tipos de áridos naturales disponibles para la fabricación de hormigón, y que es bien sabido que darán resistencias diferentes en función de la naturaleza y forma de los mismos. Esta diferencia ya es intuitiva por Laserna *et al.* (2011), donde se analizan diferentes tipos de áridos convencionales para la fabricación de hormigón reciclado. Sin embargo, a pesar de observar estas diferencias, en esta experimentación utiliza relaciones $\text{Agua}_{\text{total}}/\text{Cemento}$ constante entre las diferentes tasas de reciclado (r), de manera que la relación A_{efectiva}/C disminuye conforme se aumenta dicha tasa de reciclado, y por tanto, las diferentes matrices cementantes no tienen la misma calidad resistente, no resultando realmente comparable la resistencia entre ellas.

Con el objetivo de comprobar la influencia que transmite el árido convencional a la fabricación de hormigón, se realiza esta experimentación utilizando dos tipos de áridos naturales, con diferente tasa de reciclado y distinta cantidad de cemento, realizando amasadas comparativamente resistentes desde el punto de vista de su calidad de matriz cementante: misma relación A_{efectiva}/C entre las diferentes amasadas.

Material y Métodos

Esta experimentación está encaminada a la fabricación de hormigón reciclado comparando diferentes amasadas donde se utilizan dos tipos de áridos convencionales o naturales. Así, se analizan dos tipologías principales: Árido natural triturado (ANT) de origen calizo procedente de frente de extracción y Árido Natural Rodado (ANR) de origen silíceo procedente de gravera.

De cada tipo de árido se utilizan tres fracciones granulométricas [0-4 mm], [4-10 mm] y [10-20 mm], fabricando mezclas de hormigón con una distribución granulométrica acorde a la Curva de Fuller (Fuller y Thompson, 1907) para tamaño máximo de árido 20 mm, ajustando la mezcla objetivo por mínimos cuadrados a dicha curva. La mezcla obtenida se utiliza como hormigón control (hormigón convencional) considerada como tasa de sustitución ($r=0\%$) y mediante ella se realizan las diferentes mezclas de reciclado utilizando tasas de sustitución de árido convencional por árido reciclado (RR) del 20, 50 y 100% en volumen y únicamente para la fracción gruesa ($>4\text{mm}$).

El árido reciclado utilizado procede de un hormigón control fabricado exclusivamente para su reciclaje (H_o), lo que permite conocer las características resistentes en el momento de la transformación en árido reciclado. Para simular el envejecimiento de un hormigón normal convencional se dejó envejecer el hormigón a la intemperie durante 470 días. Así, las características resistentes del H_o fueron (f_c = resistencia a compresión, f_{ti} = resistencia a tracción indirecta), recogidas en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del hormigón original destinado a la obtención de áridos reciclados

Parámetro	Edad (días)	H_o (N/mm ²)
f_c	25	41,8
	470	60,2
f_{ti}	470	5,2

La trituración del árido reciclado se realizó mediante un doble procesado en machacadora de mandíbulas más molino de impactos, obteniendo un material final 0-40 mm que fue posteriormente separado en las fracciones [4-10 mm] y [10-20mm], desechando el material restante. Las granulometrías obtenidas, así como sus mezclas, se pueden ver en las siguientes figuras 1 y 2. Las densidades, absorciones de cada árido utilizado se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Densidad y absorción de los diferentes áridos utilizados.

Tipo de árido	Árido convencional triturado			Árido convencional rodado			Árido reciclado	
	0-4	4-10	10-20	0-4	4-10	10-20	4-10	10-20
Tamaño de árido								
Densidad real (g/cm ³)	2,69	2,65	2,71	2,46	2,60	2,61	2,47	2,47
Absorción (%)	2,11	1,37	0,97	3,07	0,70	1,56	4,96	3,81

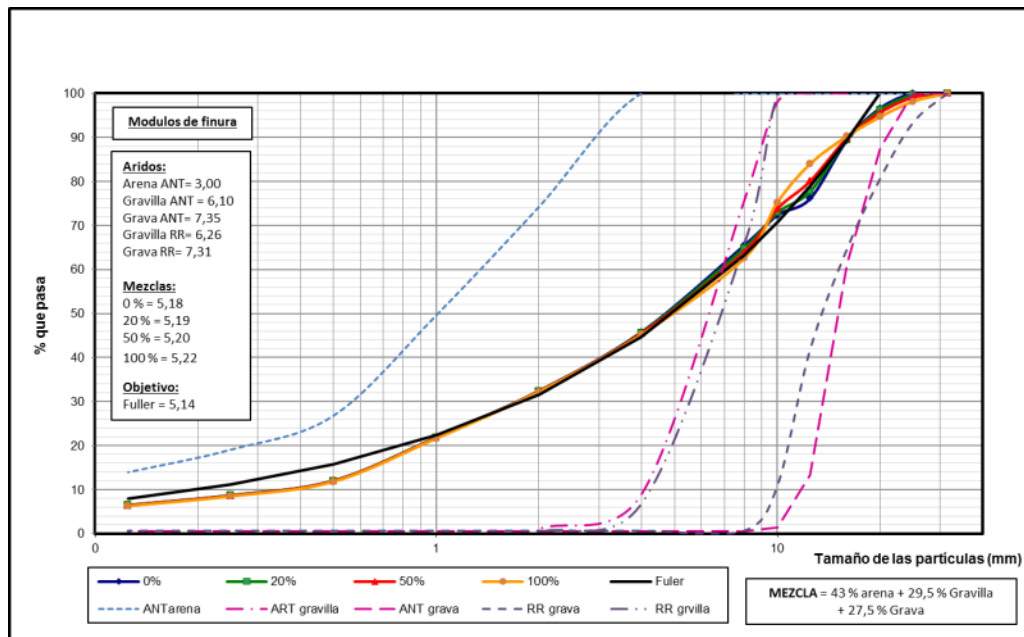


Figura 1. Curvas granulométricas de los áridos y las mezclas en la variante ANT.

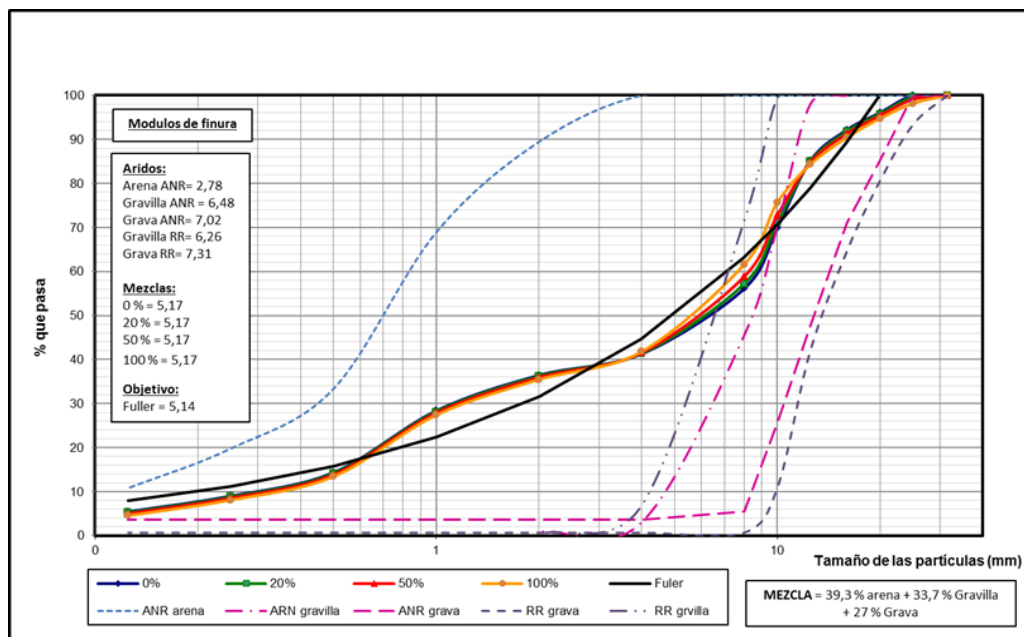


Figura 2. Curvas granulométricas de los áridos y las mezclas en la variante ANR.

Especial atención en esta experimentación se ha prestado a las cantidades de agua de amasado seleccionadas. Así, se considera que para poder establecer criterios absolutos en la comparativa resistente de las amasadas, resulta fundamental que dichas amasadas contengan la misma cantidad de agua libre o efectiva en la mezcla. Se establece que la relación que se mantiene fija para establecer esta comparativa es la relación A_{efectiva}/C . De este modo, se mantiene la misma cantidad de Agua libre o Agua efectiva para la hidratación del cemento en todas las amasadas, mientras que la cantidad de Agua total aplicada es mayor conforme se incrementa la proporción de material reciclado.

Como material cementante se utiliza un cemento tipo Portland 42,5R (CEM II/A-L 42,5R). Para comprobar la influencia de la cantidad de cemento en las diferentes amasadas se utilizan tres niveles de cemento: 260-300-340 kg/m³.

Por tanto, la relación A_{efectiva}/C en todas las amasadas es 0,5, estableciendo los niveles de aditivo que permiten mantener una consistencia blanda en todas las amasadas. Así, puesto que la cantidad de agua realmente importante es la cantidad de agua libre, se establece específicamente la cantidad de agua necesaria para el amasado, con especial atención a los niveles de absorción y humedad de las diferentes fracciones utilizadas.

El aditivo utilizado para conseguir la consistencia deseada es un superplastificante (Sikaplast® 380). Al calcular la relación A/C en términos de Agua efectiva, la cantidad de aditivo se mantiene constante entre las series que utilizan la misma cantidad de cemento. Sin embargo, entre las variantes que utilizan diferentes cantidades de cemento son diferentes, ya que el nivel de aditivo se aplica como porcentaje sobre el peso del cemento. En la tabla 3 se recogen las proporciones finales de aditivo utilizadas para cada variante de amasadas.

Tabla 3. Proporción de aditivo en función del tipo de árido y la cantidad de cemento.

$(A_{\text{efectiva}}/C=0,5)$	Cantidad de aditivo		
	240 kg	300 kg	340 kg
ANR	2,1 %	1,5%	0,9%
ANT	1,5%	0,8%	0,4%

Con todo ello, las diferentes cantidades de cada componente por metro cúbico de material se muestran en la tabla nº 4 y 5. Cabe mencionar que para la serie $r=20\%$ únicamente se analiza la variante con 300 kg/m³ de cemento puesto que el porcentaje tan bajo de sustitución no muestra información relevante frente a la amasada control $r=0\%$.

Tabla 4. Proporciones de cada componente en las diferentes amasadas ANT (en kg/m³).

Tasa de reciclaje	0%			20%		50%		100%		
	Cantidad de cemento	260	300	340	300	260	300	340	260	300
Arena 0/4	944	905	866	905	944	905	866	944	905	866
Gravilla 4/10	633	607	581	486	317	304	291	0	0	0
Grava 10/20	599	548	550	457	300	287	275	0	0	0
Reciclado 4/10	0	0	0	113	295	283	271	590	566	542
Reciclado 10/20	0	0	0	106	275	264	253	550	528	505
Agua efectiva	130	150	170	150	130	150	170	130	150	170
Sikaplast 380	3,9	2,4	1,36	2,4	3,9	2,4	1,36	3,9	2,4	1,36

Con estas proporciones se fabrican amasadas piloto de 64 litros con las que se confeccionan probetas cilíndricas de Ø150mm y 300 mm de altura según la normativa UNE 12390-2 (2009). Para el amasado se utiliza una hormigonera rotativa de 140 litros y 750 mm de diámetro. El mezclado de los componentes se realiza según se describe en otra comunicación presentada a este congreso titulada “*Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia del agua efectiva en la relación agua/cemento*”. (Montero,

Laserna y Cervera, 2015) de forma que primero se realiza un premezclado en seco de todos los componentes junto con el cemento y posteriormente se añade el agua en dos fases junto con el aditivo.

Tabla 5. *Proporciones de cada componente en las diferentes amasadas de ANR (en kg/m³).*

Tasa de reciclaje	0%			20%			50%			100%		
Cantidad de cemento	260	300	340	300	260	300	340	260	300	340		
Arena 0/4	783	751	719	751	783	751	719	783	751	719		
Gravilla 4/10	710	680	652	544	355	340	326	0	0	0		
Grava 10/20	571	547	524	438	285	274	262	0	0	0		
Reciclado 4/10	0	0	0	129	337	323	309	674	646	619		
Reciclado 10/20	0	0	0	104	270	259	248	540	518	496		
Agua efectiva	130	150	170	150	130	150	170	130	150	170		
Sikaplast 380	5,5	4,5	3,1	5,4	5,5	5,4	3,1	5,5	5,4	3,1		

El curado de las mismas se realiza por inmersión a temperatura entre 20-22°C, acorde a las condiciones normalizadas según se recoge en dicha norma.

Con las probetas de hormigón endurecido se realizan ensayos de resistencia a compresión y resistencia a tracción indirecta, según las normas UNE-EN 12390-3 (2009) y UNE-EN 12390-6 (2010) respectivamente. Para el acondicionamiento de la cara superior de la probeta para el ensayo de compresión se utiliza una pulidora rotativa. Para ambos ensayos se utiliza una prensa a compresión de 2000 kN donde se ensayan dos probetas para cada determinación.

La resistencia a compresión se realiza a las edades de 3, 7, 28 y 90 días, lo que permite obtener tanto la resistencia media que caracteriza el hormigón resultante (28 días), así como la evolución de la misma con el paso del tiempo. Para la resistencia a tracción, únicamente se determina su valor a los 28 días de edad. Se realiza un análisis estadístico ANOVA para verificar las diferencias entre los diferentes factores (tipo de árido, cantidad de cemento y tasa de reciclado).

Resultados y Discusión

A continuación se muestran los principales resultados de cada una de las dos propiedades determinadas en estos ensayos, diferenciando en cada sección por tipo de árido convencional a utilizar.

Resistencia a compresión (f_c):

Los resultados medios de resistencia a compresión (f_c) para las diferentes tasas de reciclaje, cantidades de cemento y tipologías de árido convencional, a las diferentes edades de curado, se resumen en las figuras 4 y 5. Como se puede ver, los niveles de resistencia obtenidos en las diferentes amasadas mantienen un incremento normal y más o menos constante dentro de la misma serie conforme avanza el tiempo de curado, independientemente de que se trate de hormigón reciclado o convencional. Centrando la atención en el nivel de resistencia obtenido a la edad característica (28 días) se observa cómo las amasadas control (hormigón convencional, $r = 0\%$) fabricadas con ANT

respecto a las fabricadas con ANR, obtienen una mínima diferencia, (42,2 y 40,0 N/mm², respectivamente), de manera que pueden ser consideradas como amasadas de resistencia similar. Por otro lado, como se observa en los niveles resistentes obtenidos, este hormigón puede ser considerado desde el punto de vista resistente como viable para ser utilizado como hormigón dentro de los tipos convencionales establecidos en la EHE-08 (HA-25 y HA-30) comúnmente utilizados en cualquier edificación.

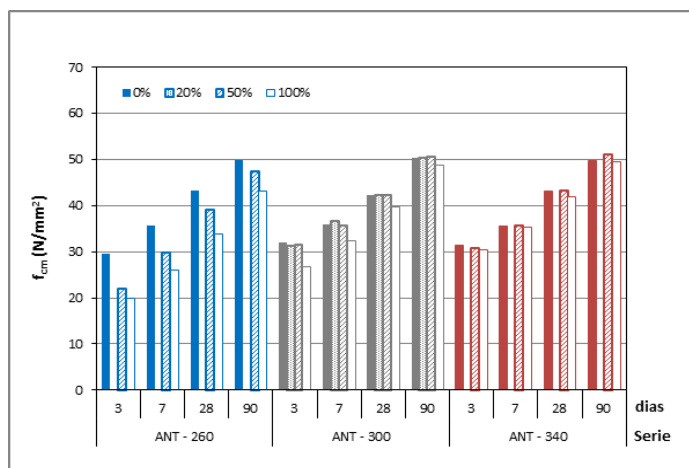


Figura 3. Resistencia a compresión en los ensayos con ANT

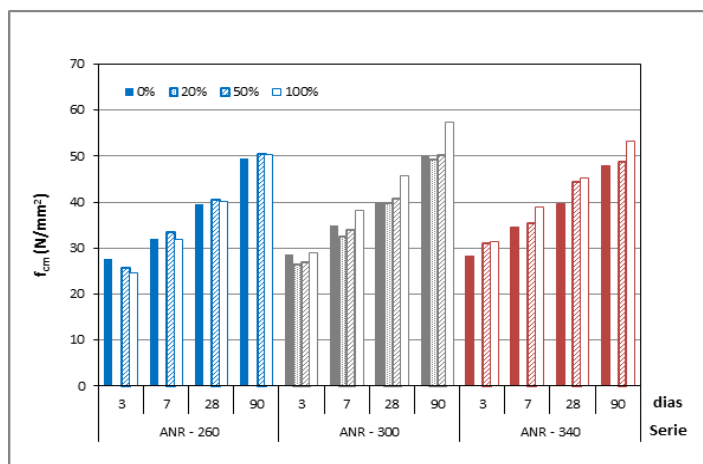


Figura 4. Resistencia a compresión en los ensayos con ANR.

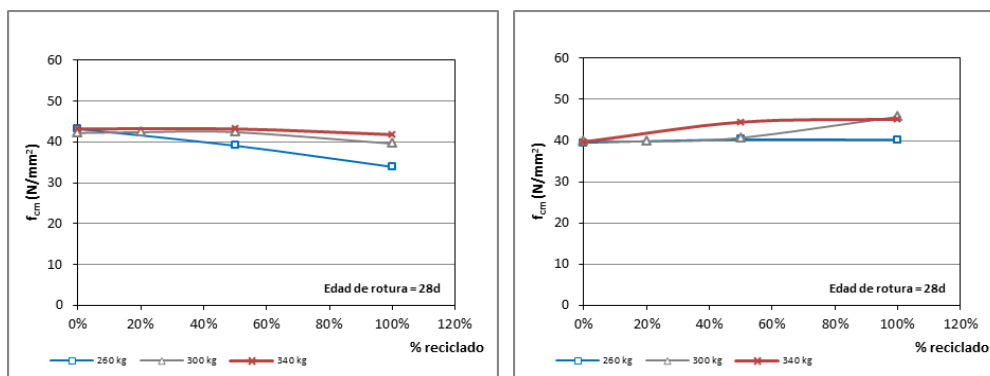


Figura 5. Resistencia a compresión a 28 días en las amasadas con ANT (izq) y ANR (dcha).

En la figura nº 5 se representa la evolución de la resistencia a compresión en función del contenido en cemento y de la tasa de reciclado, para una edad de curado de 28 días.

A la vista de estos resultados, se observan claramente dos tendencias totalmente opuestas, que son corroboradas por el análisis de varianza obteniendo un valor de $P = 0,0031 (< 0,05)$ en la prueba de la t de Student para muestras emparejadas. Así, en primer lugar hay que indicar que para las amasadas que utilizan ANT existe una ligera tendencia a disminuir la f_c respecto a la amasada control ($r=0\%$) conforme se aumenta la tasa de reciclado, acorde a la versión más extendida en la bibliografía en cuanto a hormigón reciclado. Esta penalización en la resistencia es más evidente cuanto menor es la cantidad de cemento, de manera que para contenidos bajos de cemento (260 kg/m^3) la pérdida de resistencia llega hasta un -25% . Sin embargo, como se demuestra con estos resultados, cuando se dosifica con un nivel medio-alto de cemento (próximas a $330\text{-}340 \text{ kg/m}^3$ para las condiciones de esta experimentación), la resistencia a compresión es similar a la de la amasada control, siendo perfectamente válidas sustituciones por encima del 50% de árido reciclado grueso. Esta tendencia está acorde a las recomendaciones de algunos autores de incrementar el contenido de cemento para paliar la bajada de resistencia para altas tasas de sustitución (Hansen y Narud, 1983; Barra, 1996; González, 2002; Etxeberría, Vázquez y Marí 2006; ACHE, 2006). En cualquier caso, para tasas de sustitución $r=100\%$, la disminución de la f_c para las amasadas con 300 y 340 kg/m^3 de cemento supone aproximadamente entre un $3\text{-}10\%$ sobre la resistencia control, obteniendo en cualquier caso, resultados mucho menos restrictivos que los obtenidos por Gómez Vázquez y Agullo (2001), quien establece que el valor medio sobre el descenso de resistencia es de $15\text{-}20\%$ para $r=100\%$.

Por el contrario, cuando se analizan las amasadas que utilizan ANR el efecto es claramente contrario. Así, la incorporación de tasas altas de reciclado en las amasadas puede producir, no sólo que se mantenga la resistencia obtenida en las amasadas control, sino que se produzca en determinados casos un aumento de la misma. Para un contenido de cemento de 300 kg/m^3 , a partir de $r=50\%$ la resistencia a compresión aumenta en un 15% ($45,8 \text{ N/mm}^2$) respecto a la amasada control ($40,0 \text{ N/mm}^2$). Para dosificaciones con menor dosis (260 kg/m^3), la resistencia se mantiene aproximadamente constante independientemente de la tasa de reciclaje. Para la variante de 340 kg/m^3 ($45,2 \text{ N/mm}^2$) de cemento, la resistencia observada para un nivel de reciclado de $r=100\%$ es similar a la obtenida con 300 kg/m^3 , no encontrando mayor aumento pese al incremento de 40 kg/m^3 de la tasa de cemento. Estos resultados se encuentran acordes a los resultados de Malešev Radonjanin y Marinković. (2010), Razaqpur *et al.* (2010) y Younis y Pilakoutas (2013).

Resistencia a tracción (f_{ti}):

Tal y como se ha expuesto anteriormente, la resistencia a tracción indirecta (f_{ti}) únicamente se ha determinado para la edad característica del hormigón (28 días). Los principales resultados de resistencia a tracción se resumen en la Figura 6. Los valores de resistencia a tracción obtenidos para las series analizadas varían entre los $3,4 - 4,4 \text{ N/mm}^2$, de manera que, al igual que sucedía con los resultados de resistencia a compresión, los valores de este parámetro entran dentro de las pretensiones para un hormigón convencional tipificado en la EHE-08, al igual que plantean González y Martínez (2005).

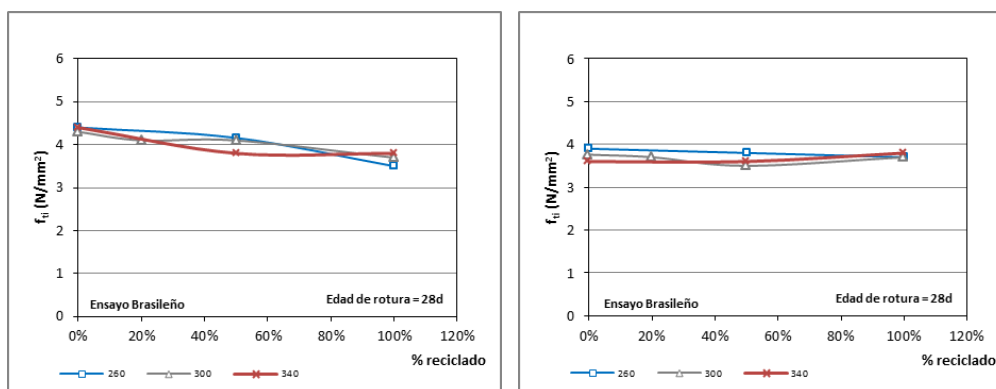


Figura 6. Resistencia a tracción en las amasadas con ANT (izq) y ANR (dcha).

Como se puede observar en los gráficos, al igual que lo que ocurría para la resistencia a compresión, la resistencia a tracción también es distinta en función del tipo de árido convencional utilizado. Sin embargo, como aspecto diferencial respecto a lo observado en la f_c , se obtiene que, en relación con la dosis de cemento utilizada, las variaciones entre los tres niveles analizados obtienen unos resultados similares, de manera que no se observan diferencias significativas de comportamiento entre las diferentes cantidades de cemento analizadas, obteniendo un valor de ($P = 0,883 > 0,05$) en el análisis de varianza.

Analizando los resultados de ANR de forma aislada, se observa como la f_t se mantiene aproximadamente constante entre los valores de 3,5-3,9 N/mm², independientemente de la tasa de árido reciclado utilizada. De este modo, puesto que esta variación también es independiente de la cantidad de cemento utilizada ($P=0,51 > 0,05$), se puede concluir que cuando se utiliza árido convencional rodado para la fabricación de árido reciclado no se produce disminución de resistencia a tracción en los términos analizados respecto al hormigón convencional ($r=0\%$). Este característica difiere ligeramente de los resultados obtenidos para la resistencia a compresión donde, como se ha descrito en el apartado anterior, las resistencias pueden verse incrementada aumentando la cantidad de cemento para tasas de reciclado superiores al 50%, y también con los resultados obtenidos por Malešev, Radonjanin y Marinković (2010) quien obtiene incrementos de entre un 5-20% con ANR.

Por el contrario, en los resultados de f_{ti} obtenidos en el hormigón reciclado que utiliza ANT se observa una disminución evidente de la resistencia conforme se utilizan tasas de árido reciclado más altas. Así, se consiguen unos valores medios de 4,3-4,4 N/mm² para la amasada control ($r=0\%$), encontrando disminuciones de entre un 5-15% para las mezclas con un 50% de reciclado y un 15-25% para un 100% de reciclado. Estos resultados son ligeramente más altos que los propuestos por ACHE (2006).

Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan de esta experimentación son las siguientes:

- El comportamiento del hormigón reciclado no sólo depende del propio material reciclado, sino que el árido convencional (o natural) tiene una influencia determinante en la resistencia.
- Así, mientras que la utilización de Árido Natural Triturado (ANT) se adapta a la teoría más extendida de penalización de la resistencia por la incorporación del material reciclado, cuando se fabrica hormigón con Árido Natural Rodado (ANR) el comportamiento es claramente diferente, pudiendo encontrar situaciones en las que la incorporación del reciclado no sólo no penalice las propiedades resistentes, sino que pueda llegar a mejorarlas hasta un 15%.
- A pesar de estas diferencias, en condiciones normales de fabricación, los resultados resistentes del hormigón son perfectamente válidos para la fabricación de un hormigón convencional tipificado en la EHE-08 obteniendo resistencias en torno a 40-42 N/mm², con tasas de reciclaje de hasta un 50% del árido grueso para contenidos de cemento de 300 kg/m³ y A/C =0,5.
- Para tasas de utilización del 100%, los resultados de resistencia a compresión en ANR son satisfactorios en las tres cantidades de cemento aplicadas, mientras que cuando se utiliza ANT, las tasas más bajas deben ser compensadas para reducir la penalización, de manera que a partir de 300 kg/m³ las disminuciones son mínimas respecto al ahorro medioambiental que suponen.
- En cuanto a los resultados de tracción indirecta, también se evidencia una diferencia de comportamiento entre ambos tipos de árido. De este modo, mientras que para el ANT se obtienen descensos de la f_{ti} hasta 25% respecto al hormigón control, en las amasadas fabricadas con ANR el nivel resistente se mantiene. Al contrario que ocurre en la resistencia a compresión, esta propiedad no muestra influencia sobre los niveles de cemento utilizados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del proyecto titulado “Valorización de áridos reciclados procedentes de residuos de la construcción y demolición y su utilización en la construcción de infraestructuras rurales (PPII-2014-004-P), financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Fondo Social Europeo.

Especial agradecimiento a las entidades colaboradoras sin las que hubiese sido imposible la realización de esta experimentación a: Syteca S.L., Cementos Portlan Valdearribas, Sika S.A.U, Almacenes Cano Barrax S.L., Hormigones Campollano y Trialsa Eiffage Infraestructuras.

Bibliografía

- ACHE, 2006. Monografía 11: Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Comisión 2-GT2/5-“Hormigón Reciclado”.
- Barra, M., 1996. Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación con hormigón armado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- EHE-08, 2008. Instrucción del Hormigón Estructural, Ministerio de Fomento, Madrid, España. RD 1247/2008 de 18 de Junio.
- Etzeberria, M., Vázquez, E., Marí, A.R., 2006. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. *Mag. Concr. Res.* 58:683–90.
- Fuller, W.B., Thompson, S.E., 1907. The laws of proportioning concrete. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. LIX, No. 2, pp. 67-143.
- Gómez, J.M.V., Vázquez, E., Agullo, L., 2001. Hormigón con Áridos Reciclados. Una guía de diseño para el material. Monografía CIMNE Nº 60.
- González, B., 2002. Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante. Tesis Doctoral. Universidad de La Coruña.
- González, B., Martínez, F., 2005. Hormigones con áridos reciclados: estudio de propiedades de los áridos y de las mezclas. *Materiales de Construcción*. 55 (279), 53 – 65.
- Hansen, T.C., Narud, H., 1983. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete international* Vol 5 nº1; pp 79-83.
- Laserna, S., Montero, J., Sánchez, R., Galletero, P., 2011. Influencia del tipo de árido natural en el comportamiento del hormigón fabricado con áridos reciclados. VI Congreso Ibérico de Agroingeniería. Évora (Portugal).
- Malešev, M., Radonjanin, V., Marinković, S., 2010. Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, 2, 1204-1225.
- Montero, J., Laserna, S., Cervera, J., 2015. Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia del agua efectiva en la relación agua/cemento. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Orihuela-Algorfa (España).
- Razaqpur, A.G., Fathifazl, G., Isgor, B., Abbas, A., Fournier, B., Foo, S., 2010. Produce High Quality Concrete mixes with recycled concrete aggregate. 2nd International Conference on Waste Engineering and Management - ICWEM. RILEM Publications pp 11-35.
- UNE-EN 12390-2, 2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia. AENOR.
- UNE-EN 12390-3, 2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. AENOR.
- UNE-EN 12390-6, 2010. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 6: Resistencia a tracción indirecta de probetas. AENOR.
- Younis, K., Pilakoutas, K., 2013. Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete. *Const. Build. Mater.* 49:688–701.

C09 - Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia del agua efectiva en la relación agua/cemento.

Montero Martínez, J.¹; Laserna Arcas, S.¹; Cervera Gascó, J.¹,

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Dpto. Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad de Castilla La Mancha. Campus universitario s/n 020071, Albacete. España. jesus.montero@uclm.es, santiago.laserna@uclm.es, jorge.cervera@uclm.es

Resumen

La fabricación del hormigón reciclado (HR) para aplicaciones estructurales no se encuentra muy extendida debido principalmente a la incertidumbre que presenta el manejo de los áridos reciclados (AR). Su fabricación se suele encorsetar en técnicas propias del hormigón convencional (HC), sin reparar en la necesidad de modificar determinados conceptos en el diseño de las amasadas. Así, la especial absorción y humedad inicial del AR plantea que los movimientos de agua en el amasado sean diferentes en relación al HC. Esta experimentación propone modificar el concepto de agua utilizado tradicionalmente hacia el concepto de Agua libre o eficaz, verificando su repercusión sobre la relación agua/cemento (A/C). Se detalla un método para el cómputo y estimación del balance de agua en la dosificación y la fabricación mediante la comparativa de la relación A/C efectiva. Además, regido por las velocidades de absorción se diseña un método de mezcla basado en la mezcla de doble etapa, con premezclado en seco y AR sin presaturar que posibilite su acoplamiento a la fabricación industrial. Los resultados especifican los tiempos mínimos a considerar en el mezclado y demuestran que el incremento de A_{total} de la mezcla reciclada no penaliza la resistencia manteniendo constante la relación A/C efectiva.

Palabras clave: Dosificación, humedad inicial, absorción, resistencia.

Manufacturing of Concrete with Recycled Aggregates. The Influence of Effective Water in the Water/Cement Ratio.

Abstract

The manufacture of recycled concrete is not very widespread for structural purposes mainly due to the uncertainty that involve the use of recycled aggregates. Their manufacture is often constrict in own techniques of conventional concrete, without considering that it's necessary to modify certain concepts in the dosage designs. Thereby, the specific water absorption and initial moisture content of the recycled aggregates suggests that water movements on the mix of concrete paste are different in relation of conventional concrete. This experiment proposes to modify the use of the traditional concept of water to the concept of free or "effective water" and verify the effect on the water/cement (W/C) ratio. Thus, a method for calculating and estimating the water balance in the dosage are proposed, thereby concrete manufacture comparing total or effective W/C has been analysed. Also, governed by the water absorption speed, a mixing method based on the two-stage mixing method, with a dry pre-mix step and without saturation treatment of recycled aggregates has been designed to let the industrial production. Results show the critical time to consider on the mix and demonstrate that an increase of total water does not result in a strength reduction provided that W/C effective kept constant.

Keywords: mix proportions, initial moisture content, absorption, strength.

Introducción

Pese a estar permitido por la normativa que regula las estructuras de hormigón en España (EHE-08, 2008) la utilización de hormigón reciclado (HR) con fines estructurales no acaba de cuajar entre los diferentes agentes que intervienen en la construcción. Uno de los principales factores viene determinado por la visión generalizada de que el material reciclado penaliza en torno a un 10-25% las propiedades resistentes del hormigón (ACHE, 2006). Además, respecto a la aplicación a gran escala aparece como un inconveniente extra el desconocimiento en el manejo de los áridos reciclados en

relación a los áridos convencionales y su adaptación al proceso de fabricación del hormigón. Las diferencias frente al material convencional radican principalmente en la mayor porosidad de los áridos reciclados debido al contenido de mortero adherido al árido, que procede del hormigón original (Etxeberria *et al.*, 2006), y que influyen directamente sobre la absorción de agua, densidad, y dureza.

Debido a esto, autores como Ravindrarajah y Tam (1985) o Hansen *et al.* (1992), sostienen que el hormigón fabricado con estos áridos necesita un 5-10% más de la cantidad de agua que el hormigón convencional (HC) para conseguir la misma trabajabilidad. Directamente relacionado con ello, proponen que este suplemento afecta directamente a la relación Agua-Cemento (A/C), pudiendo provocar un efecto perjudicial en la resistencia por una relación A/C excesiva, recomendándose emplear una cantidad de cemento superior a la estricta (entre el 5-15%) que permita compensar la bajada de resistencia por este efecto (Hansen y Narud, 1983; Barra, 1996; ACHE, 2006).

Aparece en este punto el concepto de *Agua libre o Agua efectiva*, caracterizada como la cantidad de agua que realmente queda disponible para la hidratación del cemento y por tanto para desencadenar la reacción del mismo, que no resulta de especial atención en la fabricación de hormigón convencional pero que al fabricar hormigón reciclado modifica significativamente los balances de agua de la mezcla. Así, algunos autores como Paw y Rousseau (1986); Barra (1996) o Nealen & Rühl (1997), mencionan la importancia de este concepto para la fabricación de hormigón reciclado y su influencia en la consistencia y la resistencia final obtenida. De este modo, a pesar de las recomendaciones de ACHE (2006) que concluye que la metodología de dosificación del hormigón reciclado no difiere particularmente de las técnicas utilizadas para la dosificación del hormigón convencional, lo cierto es que necesita de determinados matices ideológicos debido a sus características especiales de porosidad.

Por tanto, paralelamente a esta propiedad vienen derivados diversos factores a estudiar específicamente en la fabricación del hormigón reciclado. El primero de ellos plantea la posibilidad de compensar esta absorción, bien sea con fenómenos de pre-saturación o desecación del árido, y cuya extrapolación a la fabricación industrial lo convierte en alternativas poco viables. Aparece una vertiente que asemeja el árido reciclado con áridos ligeros (Kobayashi y Kawano, 1988), de manera que se realizan un aporte extra de agua en mitad del amasado correspondiente a la absorción originada en 30 minutos por los AR, consiguiendo igualar las consistencias al final del amasado.

Además, aparecen diversas corrientes de cómo realizar el proceso de mezcla. Experiencias de Otsuki *et al.* (2003) y Vivian Tam *et al.* (2005) indican que los mejores resultados se consiguen con métodos de doble etapa, en los que se realiza un premezclado en seco para posteriormente añadir la cantidad de agua establecida. Estos métodos suponen tiempos de mezclado demasiado cortos, que teniendo en cuenta la velocidad de absorción del árido reciclado hacen que para la consistencia obtenida disminuya drásticamente en poco tiempo. Younis y Pilakoutas (2013) proponen una modificación de estos métodos, incrementado el tiempo de premezclado, lo que permite mejorar la estabilidad de la consistencia final de la mezcla. Sin embargo, no realiza premezclado en seco de árido más cemento, etapa que, según propone Vivian Tam y Tam (2008) en una de sus modificaciones, pueda rellenar las áreas débiles en el árido reciclado y por lo tanto desarrollar una mejora de la conexión Árido Reciclado-Matriz Cementante.

Con estos antecedentes, el objetivo de este trabajo es el de estudiar las diferencias de ambas modalidades de dosificación de Agua (total y efectiva), centrando la atención sobre el efecto la relación A_{efectiva}/C como parámetro comparativo entre diferentes mezclas desde un punto de vista resistente.

Además, para poder adaptar la fabricación de hormigón reciclado a una producción a mayor escala que la experimental, se propone un método de mezcla propio, basado en las metodologías de doble etapa, en la velocidad de absorción del árido reciclado y en los balances de agua, que resulte de fácil implementación en cualquier planta convencional de fabricación de hormigón.

Material y Métodos

Se han realizado una serie de ensayos para la fabricación de hormigón reciclado (HR), con el principal objetivo de comparar diferentes modalidades de dosificación. Así, se tiene una modalidad que utiliza la cantidad de Agua Total (A_{total}) constante entre las diferentes series de hormigón, y otra que utiliza la cantidad de Agua Libre o Efectiva (A_{efectiva}) constante.

Como A_{total} se considera todo el aporte de agua que dispone la mezcla, siendo la suma de: agua de amasado (a_{am}) + agua aportada por los áridos (a_{agg}) + agua aportada por el aditivo (a_{ad}) + agua presente en los elementos de amasado (a_{eam}). Por el contrario, para el cómputo del A_{efectiva} se utiliza un balance de humedades, de manera que se determina la cantidad de agua absorbida (w_{abs}) como la suma de agua que absorbe cada fracción de árido que participa en la mezcla, calculándose el balance según la Ecuación (1):

$$A_{\text{ef}} = (a_{\text{am}} + a_{\text{agg}} + a_{\text{adv}} + a_{\text{eam}}) - w_{\text{abs}} \quad (1)$$

de manera que se diferencian las siguientes modalidades de fabricación:

- **A_{total}/C constante:** se realizaron un total de 20 amasadas, con el objetivo de comprobar el comportamiento del árido reciclado en sus diferentes proporciones en relación a la consistencia y la resistencia a compresión, ya que la cantidad A_{total} se mantiene fija en todas las muestras.
- **A_{efectiva}/C constante:** con un total 46 amasadas y el objetivo de fundamentar la utilización del concepto A_{efectiva} así como establecer la comparativa frente al hormigón patrón en cuanto a las características de consistencia y resistencia. Se plantea que a igual cantidad de cemento, si la cantidad de agua efectiva es similar, la relación de A/C será también similar entre diferentes amasadas, independientemente que una necesite mayor cantidad de A_{total} para conseguir la misma resistencia debido a la mayor absorción del árido reciclado.

Las amasadas se fabricaron en diferentes días durante todo el año y puesto que los áridos se almacenan a la intemperie, se tiene una representatividad de los diferentes estados de humedad iniciales reales de los áridos, permitiendo estudiar el efecto de este factor en las propiedades en estado fresco.

En las dosificaciones del hormigón se utilizaron:

- dos tipologías de árido natural: Árido Natural Rodado de origen silíceo (ANR) y Árido Natural Triturado de origen calizo (ANT);
- tasas de sustitución de árido grueso natural por árido grueso reciclado (r) de 0%, 20%, 50% y 100%, en volumen;

- dos configuraciones de distribución granulométricas de áridos: continuas (GC) y discontinuas (GD);
- árido reciclado gruesos [4-20 mm] procedente de residuos de construcción y demolición específicos de hormigón estructural (R);
- contenidos de cemento de 260, 300 y 340 kg·m⁻³;
- como aditivo se utiliza un único superplastificante, en diferentes proporciones según la cantidad de cemento utilizada para conseguir la consistencia blanda en la amasada control (r=0%), pero constante para los diferentes niveles de (r) de la misma serie.

El diseño de las mezclas se realizó utilizando tres fracciones granulométricas [0-4 mm], [4-10 mm] y [10-20 mm], acorde a la Curva de Fuller (Fuller y Thompson, 1907) para un tamaño máximo de árido de 20 mm, ajustando la mezcla objetivo por mínimos cuadrados a dicha curva. La mezcla se realiza en una hormigonera de tambor rotativo de 140 litros y 750 mm de diámetro, con las que una vez concluido el proceso se confeccionan probetas cilíndricas de Ø150mm y 300 mm de altura según la normativa UNE 12390-2 (2009). Con las probetas se determinó la resistencia a compresión (con dos repeticiones) según la norma UNE-EN 12390-3 (2009), utilizando una prensa de 2000 kN.

Determinación de la humedad inicial y la absorción.

Especial atención se presta a la determinación de la absorción y a la humedad inicial de cada fracción en el momento de su utilización, de manera que se sigue una metodología que permite realizar las correcciones de agua oportunas acordes a la ecuación de balance de agua en cada modalidad.

La absorción de cada fracción se determina siguiendo la norma UNE-EN 1097-6 (2006). Para la determinación de la humedad del árido se utiliza un procedimiento particular de secado en estufa a 105°C y 2 horas, encontrando que en este periodo se consiguen resultados similares a un secado en estufa de 24 h (R=1,00) para los contenidos de humedad inicial que se manejan. El objetivo de reducir el tiempo de determinación viene condicionado por el criterio de establecer una solución práctica de cara a la fabricación, ya que la determinación en 24 horas hace que la muestra pierda la significatividad del estado real de humedad, ya que transcurrido este periodo las condiciones de humedad pueden variar significativamente. Por ello, con el objetivo de poder mantener una producción continua dentro del mismo día se adopta un tiempo de 2 horas. Para mantener la humedad del material, se tapa el material con una lámina plástica opaca y se protege de la incidencia directa del sol hasta el momento de la fabricación.

La explicación al tiempo de 2 horas de secado resulta del tiempo mínimo necesario de preparación en esta experimentación hasta la confección de la mezcla. Sin embargo, pensando en su aplicación a un proceso de producción a mayor escala, la determinación de la humedad inicial puede ser reducida considerablemente hasta los 30-45 minutos, agilizando así el proceso con una alta operatividad.

Determinación del método de mezcla.

Como método de mezcla se utiliza un método propio basado la metodología de doble etapa propuesta por Vivian Tam *et al.* (2008), estableciendo diferencias con éste en la definición de las etapas y sus tiempos, que son adaptados en función de la velocidad de absorción de agua por el árido reciclado. El objetivo es utilizar un método de mezcla

que permita trabajar con las teorías de A_{efectiva}/C siendo posible extrapolar la metodología a la fabricación industrial, lo que implica la simplicidad del mismo. De este modo, se realiza un estudio de la velocidad de absorción de agua por el árido reciclado. Los niveles de absorción en función del tiempo para dos muestras de árido reciclado se recogen en la figura 1.

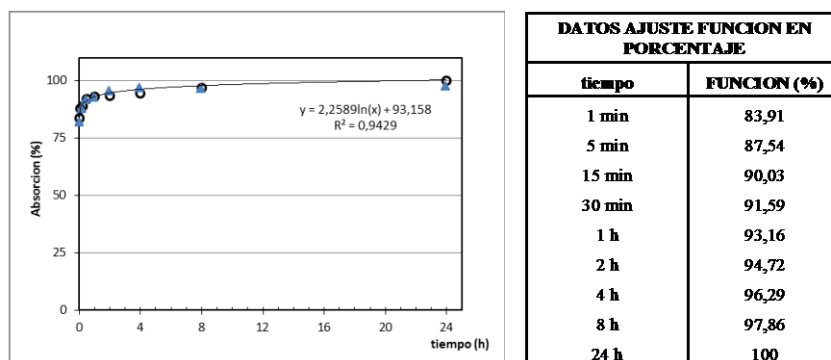


Figura 1.- Velocidad de absorción en función del tiempo para el material reciclado.

De este análisis se desprende que, tras los primeros 15 minutos el árido utilizado es capaz de absorber aproximadamente el 90% del agua requerida para su saturación, para después evolucionar de una forma lenta hasta el nivel máximo de absorción a las 24 horas, coincidiendo con las teorías de Nealen & Rühl (1997) cuando aplican de forma simultanea el aditivo en las amasadas de HC y de HR. Por lo tanto, tras estos primeros 15 minutos, es asumible que el hormigón reciclado no presentará cambios singulares de consistencia frente a los que pueda presentar un hormigón convencional.

Con este tiempo como referencia, y con los buenos resultados en la resistencia final obtenidos por Vivian Tam y Tam (2008) con la etapa de premezclado en seco de los áridos junto al cemento, se diseña el método que se describe en la tabla 1. Los tiempos que aquí aparecen han sido ajustados tras diversas modificaciones hasta obtener los tiempos mínimos con los que se obtiene una mezcla estable en las amasadas recicladas al final del proceso.

Tabla 1. Proceso de mezcla diseñado para la fabricación de hormigón reciclado.

Fase de mezclado	Tiempo del proceso (minutos)		
	por fase	acumulado	acumulado con agua
1.- Mezclado de los áridos en "seco"	2,5	2,5	---
2.- Adicción de cemento y mezclado en seco	2,5	5	---
3.- Adicción del 80% del agua de mezclado	3	8	3
4.- Adicción del aditivo.	1	9	4
5.- Adicción del agua restante y mezclado final	12	21	16
6.- Medida de la consistencia	5	26	21
7.- Reamasado final	4	30	25
TOTAL	30	30	25

Como se puede ver, en el paso nº 6 se determina la consistencia de la mezcla, de manera que han transcurrido 16 minutos desde que se inicia la fase de adicción de agua en la mezcla, superior al tiempo de absorción de 90% determinado anteriormente. La

determinación de esta propiedad se realiza mediante ensayo de asentamiento en cono de Abrams, siguiendo la norma UNE-EN 12350-2 (2006).

Resultados y Discusión

A continuación se muestran los principales resultados de las amasadas fabricadas, centrando la atención sobre los resultados del movimiento del agua, la importancia de establecer el parámetro comparativo $A_{efectiva}$ entre amasadas, así como la consistencia y resistencia finales obtenidas.

Estado de humedad inicial de los áridos.

La determinación del estado de humedad inicial para cada fracción justo en el momento de la fabricación se representa en el figura 2. Se recogen los valores de humedad por rangos y su frecuencia, lo que permite establecer de forma visual los valores más probables de humedad de cada fracción y tipo de árido.

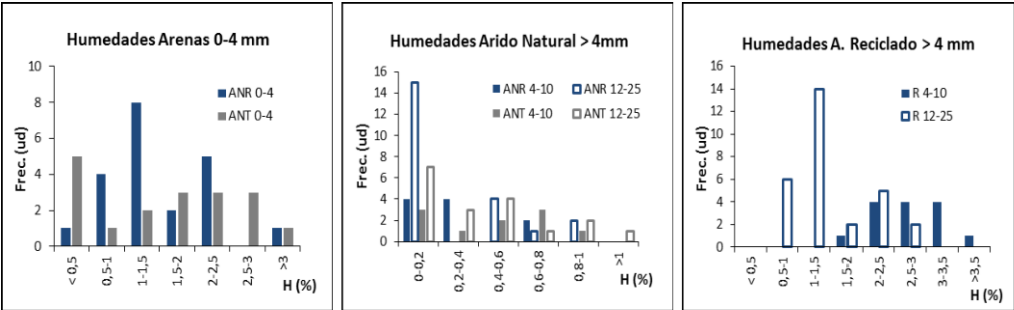


Figura 2.- Valores de humedad inicial y frecuencia de las diferentes fracciones de áridos utilizadas.

Los resultados muestran claramente cómo el estado de humedad inicial del árido reciclado es diferente respecto a las que se obtienen simultáneamente en los áridos convencionales. Así, mientras que rara vez los áridos gruesos convencionales pasan de una humedad del 1%, siendo los resultados más frecuentes valores entre 0-0,5%, los áridos reciclados se mueven en un rango de entre 0,5-3,5%, siendo los valores más frecuentes de 1-1,5% para la fracción [10-20 mm] y de 2-3,5% para la fracción [4-10 mm], con valores máximos de 2,78% y 4,10% respectivamente, asemejándose más a valores propios de una arenas que a la de un árido natural.

Tabla 2. Ejemplo de desfase de agua tras el balance de humedades en HR respecto a HC.

Fracción	Árido Grueso Convencional (AN)			Árido Grueso Reciclado (R)		
	Cantidad (kg)	H _{max} (%)	Agua (l)	Cantidad (kg)	H _{max} (%)	Agua (l)
Gravilla [4-10mm]	675	0,9	6,07	675	4,01	27,1
Grava [4-10mm]	550	1,61	8,85	550	2,78	15,3
TOTAL	---	---	14,9	---	---	42,4
Desfase		(ref)	0			+ 26,5

Por tanto, el efecto de no considerar esta humedad inicial al pasar de utilizar directamente por sustitución árido convencional por árido reciclado puede obviar incorporaciones importantes de agua en la mezcla que desvirtúen el comportamiento respecto al esperado para el hormigón convencional, sobre todo en periodos húmedos. En la tabla nº2 se expone un ejemplo de una amasada tipo donde se muestran estas

diferencias. Así, considerando una amasada estándar de 750 kg de arena [0-4 mm], 675 kg de gravilla [4-10 mm] y 550 kg de grava [10-20 mm] en un hormigón convencional, con los valores máximos manejados de humedad inicial, el hormigón puede pasar de un aporte por parte de los áridos gruesos convencionales de 14,9 litros de agua, a un aporte de 42,4 litros de agua que aportaría la fracción reciclada, suponiendo así un incremento de 26,5 litros de agua. Este valor corresponde a un 18% del contenido total de agua para una amasada estándar caracterizada por una dosificación de $150 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}$ es decir, casi una quinta parte del agua prevista.

Método de mezcla.

Como resultado del método de mezcla, la fabricación completa se consigue en 21 minutos, quedando perfectamente mezclado y con el 100% de agua aplicada al finalizar el paso 5. En la tabla 1 se extiende el tiempo necesario hasta los 30 minutos por motivos de la experimentación debido a que posteriormente se determina la consistencia y se fabrican las probetas de control.

Desde el punto de vista de los tiempos mínimos, se observa cómo partir de los 10 minutos posteriores a la aplicación del total de agua prevista, la cantidad de Agua libre se encuentra casi estabilizada por la absorción, de manera que las diferentes amasadas se encuentran en condiciones similares de consistencia y trabajabilidad entre series (figura4), coincidiendo con los resultados obtenidos por Nealen & Rühl (1997) De esta manera, para acabar de homogeneizar este periodo se selecciona un tiempo de 12 minutos de amasado tras la incorporación de la cantidad total de agua, siendo un tiempo acorde con los tiempos de saturación propuestos por Hansen *et al.* (1992). Reducir el periodo de amasado a tiempos inferiores al propuesto da como resultado mezclas muy líquidas e inestables respecto a la mezcla control ($r=0\%$) ya que pierden rápidamente la consistencia obtenida. Este tiempo de amasado necesario es significativamente más elevado que el propuesto por Vivian Tam *et al.* (2005 y 2008) o Otsuki *et al.* (2003) donde los periodos de mezclado final tras la incorporación total de Agua son de entre 90-120 segundos, acercándose más a las modificaciones propuestas por Younis y Pilakoutas (2013), con la diferencia de que en su investigación dejan reposar la mezcla durante 10 minutos tras la incorporación de la mitad de agua, y previo a añadir la cantidad de cemento, para posteriormente realizar un amasado final de 120 segundos cuando se incorpora todo el agua.



Figura 4.- Cono obtenido en amasada GC R-ANR 300/elect 100% reciclado tras diferentes tiempos (5, 8, 12, 15 min) tras la aplicación total del agua de amasado

Desde el punto de vista de producción industrial es posible implementar el método a la producción de hormigón en central, ya que únicamente es necesario un periodo de 9 minutos en el que el camión hormigonero este ocupando el puesto en la planta, tiempo

tras el cual queda incorporado todo el material en el interior de la cuba, habiendo culminados las etapas de premezclado en seco y pre-humectación de la mezcla, y tras el cual perfectamente puede realizarse el resto de amasado sin ocupar el espacio destinado a la dosificación de los materiales.

Como mejora al método de Younis y Pilakoutas (2013) la metodología propuesta permite una fabricación más rápida y su adaptación a la producción industrial, ya que posibilita incorporar todos los componentes de forma ininterrumpida, sin necesidad de volver a pasar por el punto de dosificación o de permanecer en él el tiempo requerido por la absorción del reciclado o de volver para la adición del cemento.

Resultados de A/C y consistencia

Demostrada la importancia del cómputo de la humedad inicial para las diferentes fracciones de árido, a continuación se estudia el efecto de las distintas modalidades de relación A/C utilizadas respecto a la tasa de reciclado en la mezcla. Para comprobar la efectividad del método de mezcla y la estabilidad de la misma, se relaciona este factor con la consistencia obtenida al final del proceso.

En primer lugar se analiza la evolución de las diferentes modalidades de relación A/C respecto a la tasa de reciclaje. La figura 4 muestra los resultados de las diferentes amasadas realizadas según las modalidades descritas en la metodología. Como muestra esta figura, cuando se utiliza la metodología de A_{total}/C , conforme se incrementa la tasa de reciclado se disminuye proporcionalmente la consistencia, como resulta esperable debido a la mayor absorción del árido reciclado. Sin embargo, cuando se utiliza $A_{efectiva}/C$, y a pesar de que la cantidad de Agua total sea cada vez mayor, la consistencia es similar en todas las mezclas (figura5).

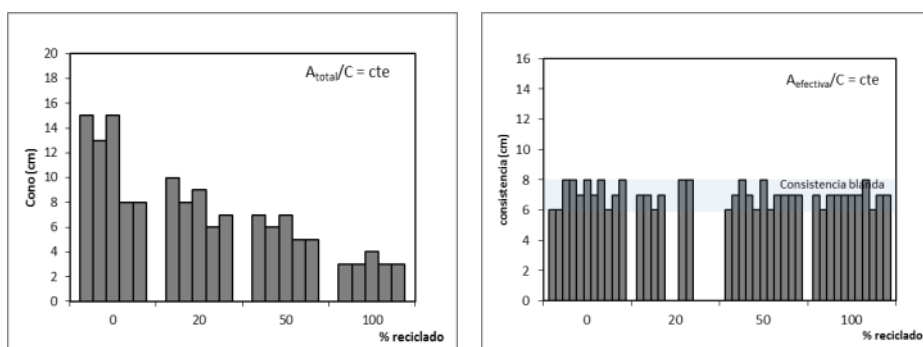


Figura 4.- Consistencia obtenida tras el proceso de mezclado en las modalidades de A_{total}/C y $A_{efectiva}/C$

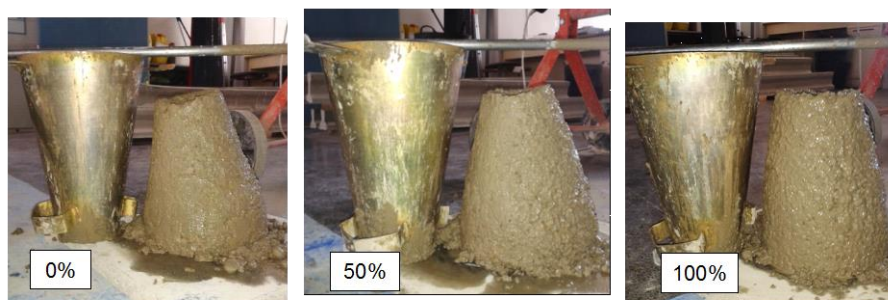


Figura 5.- Consistencias de la misma serie con $r = 0 - 50$ y 100% en la modalidad $A_{efectiva}/C = cte$.

De similar forma, los mismos resultados se obtienen cuando se compara la consistencia con las cantidades de A/C total y efectiva (figura 6) de cada una de las amasadas realizadas para cada modalidad. Así, en la parte de la izquierda se representan los resultados para la modalidad que utiliza la cantidad de Agua Total constante en la dosificación de las diferentes series, mientras que en la parte de la derecha se muestra la modalidad en la que la dosificación se realiza considerando la cantidad de Agua efectiva constante entre series.

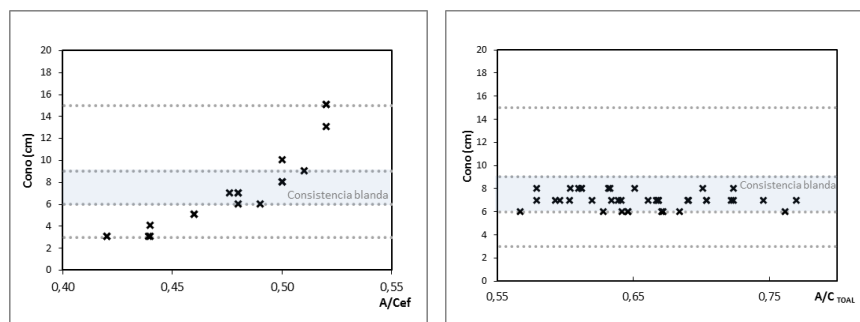


Figura 6.- Consistencia y relación A/C para las modalidades de $A_{total}/C=cte$ y $A_{efectiva}/C=cte$

De este modo, se demuestra como la consistencia está directamente relacionada con el nivel de agua efectiva con el que se diseñan las mezclas, obteniendo en las amasadas de $A_{total}/C = cte$ un descenso proporcional de la misma conforme disminuye el nivel de agua libre. Cuando se dosifica manteniendo la cantidad de agua efectiva constante, el nivel de consistencia se mantiene dentro del rango blando para el cual se diseña, a pesar de que cada vez el nivel de agua total se incrementa debido a la absorción del reciclado. Como conclusión a estos resultados, y coincidiendo con lo que especifican autores como Ravindrarajah y Tam (1985) o Hansen *et al.* (1992) es necesario una cantidad extra de agua cada vez mayor conforme aumenta la tasa de reciclado para mantener el nivel de consistencia respecto a la amasada control. Dicho nivel de agua dependerá del estado de humedad inicial de cada fracción de árido y de la absorción del mismo, siendo fundamental controlar este parámetro en el momento justo de la fabricación para realizar un correcto balance de agua y poder determinar de forma adecuada el agua de amasado.

Sin embargo, no resulta lógico que este aumento de agua lleve asociado un incremento de nivel de cemento por este incremento en la cantidad de Agua total para mantener la relación A/C según proponen Hansen y Narud (1983), Barra (1996) o ACHE (2006), ya que el factor realmente comparativo es el nivel de agua libre o agua efectiva, siendo este el agente que realmente repercute en la consistencia final así como en la posterior hidratación del cemento, y que con este balance se mantendría constante. Así, de la misma forma, el nivel resistente de la mezcla tampoco se verá directamente afectado por este incremento de agua, sino por la mera inclusión del árido reciclado, ya que del mismo modo, el cemento dispone de la misma cantidad de agua para su reacción.

Resultados sobre la resistencia a compresión.

En la figura 7 se representan los resultados de resistencia a compresión de las diferentes amasadas frente a la relación A_{total}/C , en función del nivel de reciclado utilizado. Como se puede ver, la resistencia obtenida en estas amasadas varía entre los valores de $33,9 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ y $53,2 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, siendo el valor medio de resistencia de $41,3$

$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Como demuestra la figura 7, la cantidad de agua total, medida a través de la relación A_{total}/C no está directamente relacionada con la resistencia final obtenida ($R=0,247$), de manera que se vuelve a poner de manifiesto que un incremento de agua necesario para solventar la pérdida de consistencia debido a la absorción del árido reciclado no necesita llevar a aparejado un incremento de cemento que mantenga la relación A/C . Así, se observa como los valores más altos se dan en las mezclas que utilizan las tasas de reciclado más altas ($r=100\%$) y que por ello necesitan incrementar la cantidad de agua total respecto a su control ($r=0\%$).

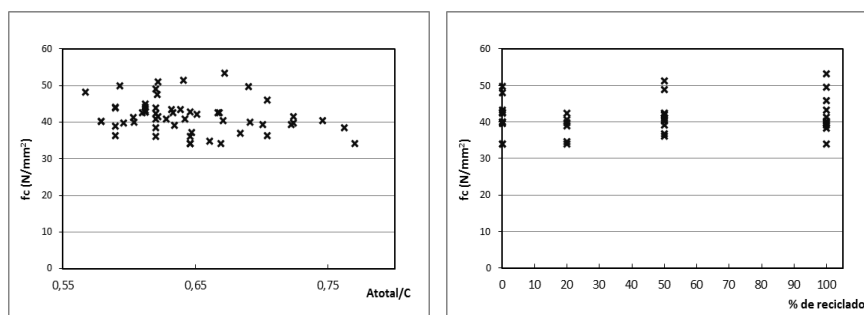


Figura 7.- Resistencia a compresión, relación A_{total}/C y nivel de reciclado para las amasadas fabricadas

De este modo, el nivel de resistencia final depende de otros factores, considerándose establecer criterios comparativos entre amasadas con la misma relación A_{efectiva}/C , que proporcionen similares consistencias, así como matrices cementantes de similar característica resistente. Un análisis más detallado sobre los resultados de resistencia obtenidos en las amasadas con relación A_{efectiva}/C se puede encontrar en la comunicación “*Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia de los áridos convencionales en las propiedades resistentes*” (Laserna et al., 2015).

Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan de esta experimentación son las siguientes:

- Se ha diseñado un método de mezcla específico para la fabricación de hormigón reciclado (HR), fundamentado en los tiempos de absorción mínimos del árido reciclado, con el cual se obtienen mezclas con similar consistencia al hormigón convencional una vez finalizado el proceso, y que resulta fácilmente aplicable a la producción de hormigón a gran escala.
- La dosificación de las mezclas de HR debe realizarse mediante el cómputo del agua libre, y por tanto se debe utilizar la relación A_{efectiva}/C para establecer criterios comparativos entre las diferentes mezclas. Así, es fundamental controlar los balances de humedad a fin de aplicar la cantidad de agua de amasado adecuada, por lo que computar el nivel de humedad inicial del árido reciclado es determinante.
- Utilizando el método de mezcla propuesto se puede fabricar HR utilizando áridos en su estado natural de humedad, sin necesidad de tratamientos de presaturado o desecación, y sin necesidad de incrementar la cantidad de aditivo respecto a la amasada control.
- Es cierto que para poder paliar la bajada de consistencia al incorporar áridos reciclados es necesario incrementar la cantidad de A_{total} . Sin embargo, este incremento no necesariamente lleva aparejado un incremento de la cantidad de cemento para mantener la relación A/C como proponen algunos autores, puesto que el nivel de A_{efectiva} es similar para conseguir las mismas consistencias, y por

tanto, la matriz cementante dispone de la misma cantidad de agua para su reacción. Además, este incremento de Agua total no es el causante de la bajada de resistencia observada por algunos autores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del proyecto titulado “Valorización de áridos reciclados procedentes de residuos de la construcción y demolición y su utilización en la construcción de infraestructuras rurales (PPII-2014-004-P), financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Fondo Social Europeo.

Especial agradecimiento a las entidades colaboradoras sin las que hubiese sido imposible la realización de esta experimentación a: SYTECA S.L., CEMENTOS PORTLAN VALDEARRIBAS, SIKA S.A.U, ALMACENES CANO BARRAX S.L., HORMIGONES CAMPOLLANO y TRIALLSA EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS.

Bibliografía

- ACHE, 2006. Monografía 11: Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Comisión 2-GT2/5-“Hormigón Reciclado”.
- Barra, M., 1996. Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación con hormigón armado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- EHE-08, 2008. Instrucción del Hormigón Estructural, Ministerio de Fomento, Madrid, España. RD 1247/2008 de 18 de Junio.
- Etcheberria, M., Vázquez, E., Marí, A.R., 2006. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. Mag. Concr. Res. 58:683–90.
- Fuller, W.B., Thompson, S.E., 1907. The laws of proportioning concrete. Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. LIX, No. 2, pp. 67-143.
- Hansen, T.C., Narud, H., 1983. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International Vol 5 nº1; pp 79-83.
- Hansen, T.C., Schulz, R.R., Hendricks, C.F., Molin, C., Lauritzen, E.K., 1992. Recycling of demolished Concrete Masonry. Report of Technical committee 37-DCR Demolition and Reuse of Concrete. RILEM.
- Kobayashi, S. & Kawano, H. (1988) Properties and usage of recycled aggregates concrete. Demolition and Reuse of concrete and masonry, vol 2. Reuse of demolition waste, Proceedings of the second International Rilem Symposium. Ed Y.kasai; pp547-556. Noviembre 1988, ISBN 0-412-32110-6
- Laserna, S., Montero, J., Cervera, J., 2015. Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia de los áridos convencionales en las propiedades resistentes. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Orihuela-Algorfa (España).
- Nealen, A. Rühl, M., 1997. Consistency aspects in the production of concrete using Aggregates from recycled Demolition Materials. In Darmstadt Concrete - Annual Journal 12, TU Darmstadt.
- Otsuki, N., Miyazato, S.I., Yodsudjai, W., 2003. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. J Mater Civil Eng, 15(5):443–51
- Paw, C., Rousseau, E., 1986. Equipment Performance and mixing Techniques. Batiement International Building Research and Practice. Vol 14 nº3, pp 164-169.
- Ravindrarajah, R.S., Tam, C.T., 1985. Proprieties of concrete made with crushed concrete as coarse Aggregate. Magazine of concrete research. vol 37 nº 130 pp 29-38.
- UNE-EN 12350-2, 2006. Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de Asentamiento. AENOR

- UNE-EN 12390-2, 2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia. AENOR.
- UNE-EN 12390-3, 2009. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. AENOR.
- UNE-EN 1097-6, 2001/A1, 2006. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua. AENOR.
- Vivian Tam W.Y., Gaob, X.F., Tama C.M., 2005. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cem and Conc Res* 35, 1195 – 1203.
- Vivian Tam, W.Y., Tam, C.M., 2008. Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA and TSMA^{sc}. *Constr Build Mater* 22, 2068–2077.
- Younis, K., Pilakoutas, K., 2013. Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete. *Const Build Mater* 49, 688–701.

C10 - Influencia de la adición de nano-sílice en hormigones prefabricados para alojamientos de ganado.

Massana, J.¹; León, N.², Alonso, F.¹, Sánchez-Espinosa, E.¹

¹ Dpto. Ingeniería Agroforestal. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Complutense s/n, 28040 Madrid. jordi.massana@upm.es ; paco.alonso.peralta@upm.es ; elvira.sanchez.espinosa@upm.es. ²Dpto. Ingeniería Civil: Construcción. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. ne.leon@alumnos.upm.es.

Resumen

Los elementos de hormigón prefabricado se utilizan frecuentemente en los alojamientos ganaderos, no solo como elementos estructurales sino también en la edificación. En general, estos elementos, no suelen requerir altas resistencias, pero si una elevada durabilidad debido al ambiente agresivo al que se encuentran sometidos durante su vida en servicio. Este trabajo analiza el efecto de la incorporación de distintos porcentajes de nano-sílice en estado fresco, en la resistencia a compresión y en el comportamiento durable frente a cloruros de un hormigón autocompactante de altas prestaciones. Para ello se fabricaron cuatro hormigones con 0%, 2,5%, 5% y 7,5% de nano-sílice con respecto al peso de cemento, todos ellos con la misma relación agua/cementante. Las mezclas se caracterizaron tanto en estado fresco como en estado endurecido. Se determinó su resistencia a compresión, resistencia a tracción indirecta, módulo de elasticidad, porosidad total y distribución porosa. También se estableció su comportamiento durable frente a cloruros mediante la determinación del coeficiente de difusión y el cálculo de su vida útil. Los resultados ponen de manifiesto un aumento en la resistencia a la compresión asociada con un refinamiento de la matriz porosa. Además, esto supone un aumento significativo en la resistencia a la penetración de cloruros con una disminución significativa del coeficiente de difusión. La incorporación de nano-sílice en el hormigón permite un hormigón más compacto, y por lo tanto, más durable. Incluso permite que para la misma vida útil, los espesores de recubrimiento puedan reducirse. Aspecto que unido a la no necesidad del vibrado hacen de este hormigón muy apto para la prefabricación de elementos para el medio agrícola en general y para alojamientos ganaderos, en particular.

Palabras clave: hormigón, autocompactante, nano-sílice, durabilidad, estado fresco, vida útil

The influence of nano-silica addition in precast concrete for livestock facilities

Abstract

Precast concrete elements are very often used in livestock housing. They are not only used as structural elements also as building elements. In general, high strength is not usually required, whereas high durability is needed due to the aggressive environment to which they are subjected during his service life. This paper analyzes the effect of incorporating different percentages of nano-silica in the fresh state, in the compressive strength and in the durability of high performance self-compacting concrete. For this, four concrete types with the addition of 0%, 2.5%, 5% and 7.5% of nano-silica in weight of cement, have been manufactured; all of them with the same water/binder ratio. The mixtures were characterized both in fresh and hardened state. Compressive strength, splitting tensile resistance, modulus of elasticity, total porosity and pore size distribution were determined. It was also assessed the durable performance against chlorides by determining the diffusion coefficient and calculating service life. The results show that an increase in nano-silica percentage, involves an increase in compression strength associated with a refinement of the porous matrix. In addition, this implies a significant increase in the resistance to chlorides penetration with a significant decrease in the diffusion coefficient. The incorporation of nano-silica in concrete results in a more compact concrete, and therefore, more durable. Even it also shows that for the same service life, a reduction of the coating thickness is possible. This issue, along with the non-necessity of vibration, makes this concrete very suitable to be used for precast elements in general agricultural environment and particularly for livestock housing.

Keywords: concrete, self-compacting, nano-silica, durability, fresh state, service life.

Introducción y Justificación

La incorporación de nano-partículas en los materiales base cemento es una práctica cuyo interés ha ido en aumento en la última década. Son varias las nano-adiciones que se emplean en la construcción. Las más usadas son las nano-partículas de óxidos de silicio, titanio, alúmina y hierro (Sánchez y Sobolev, 2010). La naturaleza del tipo de adición a elegir, depende de las propiedades que se quieran mejorar o conferir al material y de su relación con la funcionalidad que se le quiera dar. La mayor concentración de estudios referentes a la incorporación de nano-partículas en el área de la construcción son las referentes a la nano-SiO₂ (Kawashima *et al.*, 2013). La mayoría de estudios coinciden en afirmar que la incorporación de nano-SiO₂ produce cambios microestructurales ya que es un activador de las reacciones puzolánicas (Byung-Wan *et al.* 2007). De forma similar, al ya muy conocido humo de sílice, la nano-SiO₂ reacciona con el hidróxido de calcio (Ca (OH)₂), produciendo una mayor cantidad de gel CSH que densifica el material, con la consiguiente reducción de su permeabilidad (Bjornstrom *et al.* 2004). Del mismo modo, la reducción del contenido en portlandita supone una mayor resistencia a la lixiviación del Ca²⁺ (Li, Zhang y Ou, 2006; Zyganitidis *et al.* 2011; Schmidt *et al.* 2013). El tamaño de las partículas de sílice adicionada produce cambios en el número y tamaño medio de los cristales de portlandita (Byung-Wan *et al.* 2007; Arefi *et al.* 2011). Estos cambios microestructurales (Sánchez y Sobolev, 2010) se ven reflejados en cambios en las propiedades macroestructurales tanto de morteros como de hormigones tales como su resistencia y su módulo elástico (Nazari y Riahi, 2010; Zyganitidis *et al.* 2011; Said *et al.* 2012; Yu, Spiesz y Brouwers, 2014; Craeye *et al.* 2014), su durabilidad (He y Shi, 2008; Zhang y Li., 2011) y fatiga (Li, Zhang y Ou, 2007) entre otras.

El hormigón autocompactante es el resultado de la búsqueda de un hormigón de calidad, compacto y durable, para estructuras fuertemente armadas en las que el proceso de vibración era complicado. El profesor Okamura inició el desarrollo de dicho hormigón en la Universidad de Tokio a mediados de los 90 (Okamura y Ozawa, 1996), poniéndolo a punto en las siguientes décadas (Okamura, 1997; Okamura y Ouchi, 1999; Okamura, Ozawa, y Ouchi, 2000; Okamura, Maekawa y Mishima, 2005). Este hormigón se caracteriza por una reducida relación agua/cemento, un alto contenido de finos, para lo cual se agrega filler calizo a la mezcla, un reducido contenido en árido grueso y la inclusión de aditivos superplastificantes. Todo ello permite obtener un hormigón de alta fluidez, que por acción de su propio peso, consigue una buena consolidación sin exudación ni segregación (EHE-08, 2010). En la industria de los prefabricados las ventajas del uso de este hormigón son aún mayores, ya que aumenta la vida útil de los moldes debido a que la ausencia de vibrado permite que estos sean más ligeros y, por tanto, se reducen los gastos de mantenimiento incrementándose su sostenibilidad.

Existen algunos trabajos que estudian las propiedades mecánicas y microestructurales de este tipo de hormigón con nano-sílice (Nazari y Riahi, 2010; Rong *et al.* 2015), siendo muy pocos los que analizan su comportamiento reológico y durable (Jalal *et al.* 2012). Esta última característica es fundamental para los elementos estructurales presentes en las instalaciones ganaderas que mayoritariamente utilizan prefabricados (León *et al.* 2014). Estos prefabricados, sobre todo enrejillados, se caracterizan por ser elementos con recubrimiento mínimo y encontrarse sometidos a ambientes de media agresividad.

Por ello, tienen un alto riesgo de colapsar debido a un rápido deterioro de dicho recubrimiento con la consiguiente corrosión de sus armaduras (Massana *et al.* 2013).

Por ello, el objetivo de este trabajo es determinar la influencia de la incorporación al hormigón autocompactante de distintas proporciones de nano-SiO₂ en su estado fresco, en su resistencia a compresión y en el comportamiento durable frente a cloruros. Hay que indicar que aunque la presencia de estos iones cloruro dentro del hormigón no lo debilitan, si pueden despasivar las armaduras y provocar su corrosión. La identificación de la profundidad a la que puedan llegar los cloruros en los hormigones así como la previsión de su vida útil puede ser determinante tanto en el diseño de los espesores de recubrimientos como en la valoración del estado de las estructuras y por tanto en el tiempo en el que se aseguran las prestaciones para las que ha sido diseñada. Conocidas estas prestaciones se podría optimizar las dosificaciones para la prefabricación de elementos estructurales con un alto grado de sostenibilidad.

Material y Métodos

Se ha utilizado cemento portland CEM I 52,5 R (CP) con un diámetro promedio de 13,1µm, nanosílice (nSi) Levasil 200/40% con un diámetro promedio de 0,15 nm (ver Tabla 1), aditivo superplastificante SIKa Viscocrete 5720 (SP) y aditivo modificador de viscosidad (MV) SIKa Stabilizer 4R. Los áridos empleados en las mezclas son arena de río, grava rodada de 6 a 12 mm y filler calizo cuya granulometría cumple con la norma UNE 12620:2003+A1:2009.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del cemento Portland (CP) y nanoSi (nSi)

	(%) SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Pérdidas al fuego (%)	Densidad (g/cm ³)	Superficie específica (m ² /g)
CP	19,20	6,07	1,70	63,41	2,56	3,38	0,2	0,33	2,09	3,5	0,42
nSi	99,90								0,10	1,29	200

Se han preparado cuatro dosificaciones de hormigón autocompactante (ver Tabla 2) con 0%, 2,5%, 5% y 7,5% de nSi respecto a la cantidad de cemento, que se denominarán en adelante como HAC, (HAC[nSi]-2,5), (HAC[nSi]-5) y (HAC[nSi]-7,5) respectivamente. Como control, fue utilizado hormigón sin adición (HAC).

Tabla 2. Dosificación de los hormigones estudiados

Componente (Kg/m ³)	HAC	HAC[nSi]-2,5	HAC[nSi]-5	HAC[nSi]-7,5
Relación (a/c)*	0,36	0,36	0,36	0,36
Cemento (kg)	450	450	450	450
Nano sílice (kg) (%)	-	11,25 (2,5%)	22,5 (5%)	33,75 (7,5%)
Agua (l)	162	166,05	170,1	174,1
Filler Calizo (kg)	100	100	100	100
Arena (kg)	1160	1160	1160	1160
Grava 6-12 (kg)	585	585	585	585
Superplastificante (%)	2	3,3	4	6
Modificador viscosidad (%)	0,15	0,15	0,15	0,15

(a/c)*: Relación agua/material cementante.

Para evaluar las características de autocompactabilidad de los hormigones utilizados se realizan, en estado fresco, los ensayos normalizados de acuerdo con la instrucción EHE (EHE-08, 2010). Se realiza el ensayo de escurrimiento o extensión de flujo (UNE-EN 12350-8), el ensayo del embudo en V (UNE-EN 12350-9), el ensayo de la caja en L (UNE-EN 12350-10) y el ensayo de escurrimiento con anillo japonés (UNE-EN 12350-12). Una vez comprobada la autocompactabilidad de las mezclas se procede a la fabricación de probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. A las 24 horas de su fabricación las probetas se desmoldan y se colocan dentro de una cámara de curado a una temperatura de 20 ± 2 °C, de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-2.

A los 7, 28 y 90 días de su fabricación, se realizó el ensayo de resistencia a compresión de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-3. El ensayo se realizó en una prensa IBERTEST, con una capacidad máxima de 1500 kN.

Para la caracterización microestructural de los hormigones se determinó la porosidad total mediante el ensayo de porosimetría por intrusión de mercurio (PIM) de acuerdo a la norma ASTM D4404-84 (2004). Para la PIM se utiliza un porosímetro Micromeritics, modelo Autopore IV 9500, que alcanza una presión máxima de 33.000 psi, cubriendo un rango de tamaño de poros entre 5 nm y 180 μ m.

El comportamiento durable de los hormigones fue evaluado mediante la penetración de cloruros. Para ello se determinaron los coeficientes de difusión de cloruros de acuerdo con el método de difusión natural de la norma CEN/TS 12390-11:2009. El cálculo de la vida útil se realizó mediante las ecuaciones descritas en la EHE-08 (2010) en su anejo 9 de durabilidad.

Resultados y Discusión

Propiedades reológicas del hormigón fresco

Los resultados de los ensayos realizados en estado fresco se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los ensayos de caracterización de los hormigones autocompactantes en estado fresco

Ensayo		HAC	HAC[nSi]-2,5	HAC[nSi]-5	HAC[nSi]-7,5
Extensión de flujo	d_f (mm)	650	720	635	565
Embudo en V	T_V (s)	8,25	11,44	13,84	17,13
Caja en L	C_{bl}	0,98	0,96	0,81	0,85
Extensión flujo anillo Japonés	d_{Jf} (mm)	645	695	605	560
	$d_f - d_{Jf}$	5	25	30	5

Se observa que el diámetro de escurrimiento (d_f) se encuentra entre 550 mm y 850 mm, por lo que todas las mezclas cumplen con dicho parámetro (EHE-08, 2010). Además, las mezclas no presentan segregación ni exudación, a pesar de tener elevadas cantidades de superplastificante (SP), incluso en la mezcla [nSi]-7,5 con un contenido en SP superior a lo permitido por la EHE-08, que es de un 5%. Estos resultados contradicen a Dubey y Kumar (2012) que afirman que con cantidades superiores al 2%

de un SP de tipo carboxilato, similar al utilizado en este estudio, se observa segregación de la mezcla. Incluso Borralleras (2012) defiende que la cantidad máxima de SP queda determinada cuando el aditivo deja de producir mejoras reológicas en el material en estado fresco.

También se puede observar que las mezclas muestran una disminución del diámetro de escurrimiento a medida que aumenta la adición. Esto se traduce en una menor docilidad de la mezcla, aún cuando hay un incremento, hasta del 6%, en la cantidad de SP, superior al recomendado por la EHE. Jalal *et al.* (2012) afirman que tanto la nSi como la mSi mejoran la consistencia del hormigón autocompatante, pero no entran a valorar el aumento de dicha consistencia con respecto al contenido ni tipo de estas. Sin embargo, constatan que cantidades de nSi del 2% respecto al peso de cemento no varían sustancialmente el diámetro de escurrimiento y si lo hacen las mezclas binarias con un 10% de mSi y 2% de nSi. En nuestro caso, con un contenido del 2,5% respecto al peso del cemento, el diámetro de escurrimiento aumenta por encima del valor obtenido en la mezcla de referencia, esto puede ser debido al efecto que produce un incremento en finos, predominando este efecto por encima de la mayor demanda de agua.

Por otra parte la elevada cantidad de aditivo SP produce un importante burbujeo que es directamente proporcional a la cantidad agregada (Nazari y Riahi, 2010). Estas burbujas pueden dar lugar a la formación de poros no interconectados en el material endurecido, que pueden comprometer las características resistentes de este hormigón, por lo que se recomienda la utilización, junto con el policarboxilato, de un polietileno condensado que actúa como desespumante (Jalal *et al.*, 2012).

En el ensayo del embudo en V, el tiempo de paso obtenido para todas las mezclas se mantienen dentro del intervalo 4 - 20 s, exigido por la EHE-08, siendo este valor claramente superior en las mezclas con nSi. En dichas mezclas, se observa, que el tiempo de paso se incrementa a medida que se incrementa en contenido en nSi, es decir, se densifican, a pesar del notable incremento de SP. Estos resultados discrepan de los obtenidos por Jalal *et al.* (2012) quienes obtienen un tiempo de paso, por el embudo en V, mínimo de 4 s para la mezcla con 500 kg/m³ y un 2% de nSi y máximo (12 s) para la mezcla binaria 10% mSi + 2% nSi y 400 kg/m³. Las diferencias en los contenidos de cemento podrían ser las responsables de estas notables diferencias en los resultados ya que un incremento en la cantidad de cemento mejora todas las propiedades reológicas debido a un incremento en el volumen de la pasta (Fernandez Cánovas, 2013).

Los valores de la capacidad de paso (C_{bi}) se encuentran comprendidos, en todos los hormigones, entre los valores límite de 0,75 y 1, disminuyendo al incrementarse la cantidad de nSi. Además, este parámetro proporciona información sobre la capacidad de autonivelación de los hormigones (EHE-08, 2010), siendo menos autonivelantes cuanto mayor es el contenido de nSi.

La EHE-08 limita el valor del diámetro de escurrimiento con anillo japonés (d_{Jf}) en función del diámetro de escurrimiento (d_f) obtenido en la misma mezcla, teniéndose que cumplir que su diferencia sea inferior a 50 mm. Esta exigencia se cumple en todas las mezclas diseñadas. Se observa que los hormigones con adición de nSi tienen un comportamiento similar al del ensayo de escurrimiento (d_f), aunque con valores inferiores, puesto que con él se determina la dificultad que puede tener el hormigón al

paso con obstáculos. Así, con mayor cantidad de nSi menor es el valor del diámetro de escurrimiento con anillo japonés (d_{Jf}).

Es importante hacer notar que, en la fabricación de las mezclas, los hormigones estudiados tenían una elevada velocidad de fraguado. Independientemente de la cantidad de SP añadida, el comienzo del fraguado se producía a los pocos minutos de la fabricación. Este hecho coincide con lo estudiado por Bjornstrom *et al.* (2004) que afirma que la nSi es un activador de las reacciones puzolánicas acelerándolas. Esto dificulta la manipulación de la mezcla y por tanto, su puesta en obra. Sin embargo, este fenómeno, puede ser una ventaja en la industria de los prefabricados, en las que un fraguado rápido puede ser beneficioso, debido a la posibilidad de desmoldar en tiempos más cortos, posibilitando el aumento de producción, además de la ventaja propia de estos hormigones, en los que se hace innecesario el vibrado. Estos aspectos son destacables y mejoran, de forma notable, la sostenibilidad de estos hormigones.

Propiedades mecánicas del hormigón endurecido

En la Figura 1, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión a los 7, 28 y 90 días de curado. En ella, se puede observar que los hormigones con nSi tienen resistencias mayores a las obtenidas en el hormigón de referencia. Además, dicha resistencia aumenta a medida que aumenta la cantidad de adición. El incremento porcentual, para cada hormigón y edad, se encuentra recogido en la Tabla 4.

Tabla 4. Incrementos (%) de resistencia a compresión de hormigones estudiados vs hormigón de referencia

Días de curado	HAC[nSi]-2,5	HAC[nSi]-5	HAC[nSi]-7,5
7	23,89	23,32	39,01
28	8,95	13,32	16,61
90	10,67	9,66	20,58

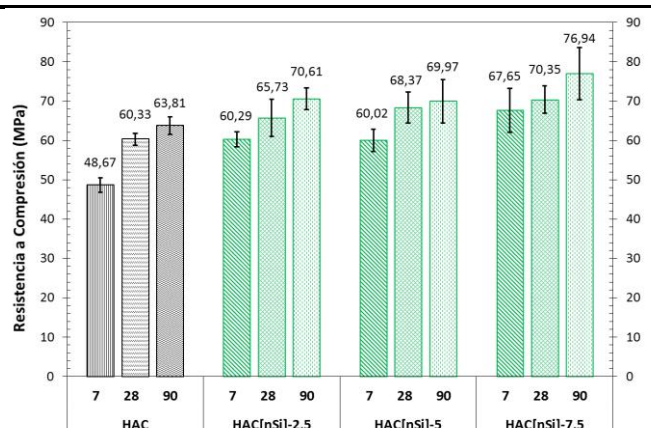


Figura 1. Resistencia a compresión de los hormigones estudiados a 7, 28 y 90 días de curado

En la Figura 1, se observa que todos los hormigones presentan un incremento de resistencia sostenido durante el curado, incrementándose un 35,7% en el HAC, un 17,12% en el HAC[nSi]-2,5, un 16,58% en el HAC[nSi]-5 y un 13,72% en el HAC[nSi]-7,5 entre los 7 y los 90 días de curado. Estos bajos incrementos se deben a que los hormigones con nSi, adquieren su resistencia a las primeras edades, siendo menor el

incremento entre los 28 y 90 días de curado. Esto puede ser debido a la gran actividad puzolánica que presentan las nano-partículas de nSi por su gran superficie específica, comportándose como un activador de dichas reacciones (Bjornstrom *et al.*, 2004).

Como se puede observar en la Tabla 4, los mayores incrementos de resistencia a compresión respecto a los obtenidos en el hormigón de referencia, se producen a los 7 días de curado aunque continúa aumentando hasta los 90 días de curado con incrementos moderados. Cabe destacar que el máximo valor de la resistencia a compresión se da a los 90 días (76,94 MPa) en el hormigón con mayor contenido en nSi. Estos resultados son ligeramente inferiores a los obtenidos por Jalat *et al.*, que con el mismo contenido en cemento y un 2% de nSi obtienen valores de 80,4 MPa y 85,3 MPa a los 28 y 90 días de curado. Probablemente estas diferencias puedan deberse al mayor contenido en filler calizo en detrimento del árido fino.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de la resistencia a tracción indirecta y del módulo de elasticidad de los hormigones estudiados.

Tabla 5. Valores de resistencia a tracción indirecta y módulo de elasticidad a los 28 días de curado

	HAC	HAC[nSi]- 2,5	HAC[nSi]-5	HAC[nSi]-7,5
Resistencia a tracción indirecta (MPa)	5,46	6,22	6,29	6,45
Módulo de elasticidad (GPa)	43,11	38,46	37,08	39,47

El valor de la tracción indirecta en hormigones con nSi es ligeramente superior al valor del hormigón de referencia, aunque no existen diferencias significativas entre todos ellos. Aunque notablemente superiores a los obtenidos por Jalal *et al.*, (2012), estos resultados, igual que los de Jalal, indican que la adición de nSi en hormigones autocompactables no modifica la resistencia a tracción indirecta.

En cuanto al módulo de elasticidad se observan valores significativamente menores en los hormigones con nSi que los del hormigón de referencia (HAC), sin diferencias significativas entre ellos. Es de destacar que los valores del módulo de elasticidad del HAC en comparación con los obtenidos por Romero (2012) y Beigi (2013) son altos, lo que haría que la afirmación de disminución del módulo de elasticidad por adición de nSi sea menos concluyente. Sin embargo, se debe de tener en cuenta que el valor más frecuente de este parámetro, en la revisión bibliográfica realizada por Craeye (2014) es de 36 GPa por lo que los valores del módulo de elasticidad de los hormigones con nSi estarían ligeramente por encima de este valor.

Características microestructurales: porosidad

En las figuras 2 y 3 se presenta la porosidad total y la distribución porosa, respectivamente, de los hormigones estudiados a los 28 días de curado.

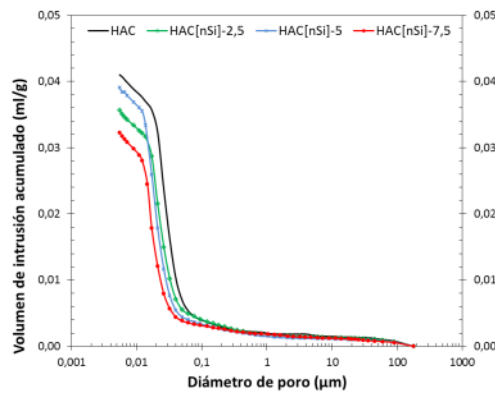


Figura 2. Volumen de intrusión acumulado vs diámetro de poro.

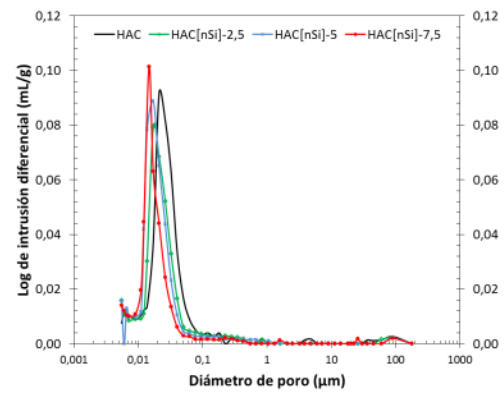


Figura 3. Logaritmo de intrusión diferencial vs diámetro de poro.

En la figura 2 se observa una disminución del volumen de intrusión acumulado a medida que aumenta el contenido de nSi. La porosidad total disminuye en los hormigones con nSi y lo hace en mayor proporción a medida que aumenta el contenido de adición. Esto se encuentra asociado a un refinamiento del tamaño de los poros, como se muestra en la figura 3. En ella se aprecia un desplazamiento de las curvas hacia la izquierda, es decir, una reducción del tamaño de poro. Esta reducción tanto de la porosidad total como del tamaño de poro permite afirmar que estos hormigones tienen una microestructura más homogénea y más densa, dando lugar a hormigones más compactos que el HAC. En consecuencia, serán hormigones menos susceptibles al ataque de agentes agresivos y por tanto con mejores prestaciones durables. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por numerosos investigadores como Bjornstrom *et al.* (2004), Nazari y Riahi (2010), Jalal *et al.* (2012), Rong *et al.* (2015). En todos estos trabajos la adición de nSi reduce el tamaño medio de poro además de reducir la porosidad total del hormigón. Esta reducción es consecuencia de las reacciones de hidratación del cemento y de la reacción puzolánica y el efecto filler de la nSi.

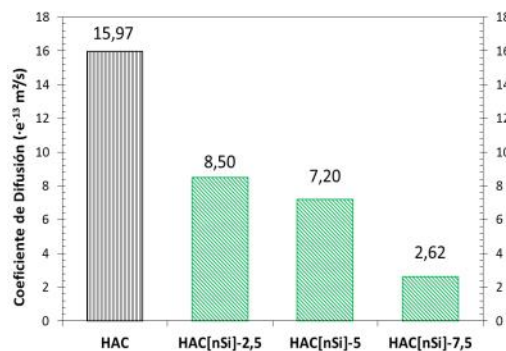


Figura 4. Coeficiente de difusión de cloruros en los hormigones ensayados.

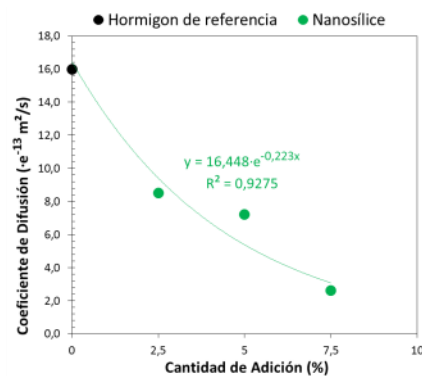


Figura 5. Relación entre el coeficiente de difusión de cloruros y la cantidad de nSi.

En la Figura 4 se presentan los coeficientes de difusión de cloruros para cada uno de los hormigones ensayados. La disminución del coeficiente de difusión de cloruros en los hormigones con nSi respecto al hormigón de referencia es muy significativa, siendo el porcentaje de disminución de un 46,78%, 54,9% y 83,58% para las mezclas HAC[nSi]-2,5, HAC[nSi]-5 y HAC[nSi]-7,5 respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Said *et al.* (2012) y Jalal *et al.* (2012). Además, se ajustan a una curva

exponencial (Figura 5) en la que se relaciona la cantidad de adición con el coeficiente de difusión de cloruros con un valor de R^2 del 0,927 en la que a medida que aumenta el contenido de nSi menor es el coeficiente de difusión.

La vida útil de un hormigón puede ser calculada conociendo los valores del coeficiente de difusión, mediante el modelo matemático descrito en la EHE-08 (2010). Según dicha instrucción y en condiciones normales se puede considerar una concentración crítica de cloruros $C_{th}= 0,6\%$ y una concentración de cloruros en la superficie del hormigón $C_s = 0,7\%$, para el cálculo del coeficiente de penetración de cloruros K_{Cl} , con el que se puede determinar la vida útil en función de la penetración de cloruros. En la Figura 6 se muestra la penetración de cloruros, por difusión natural, en los hormigones estudiados en función del tiempo. En ella, se observa, que al aumentar la cantidad de nSi, el tiempo que tardan en penetrar los iones cloruros a una misma profundidad es menor.

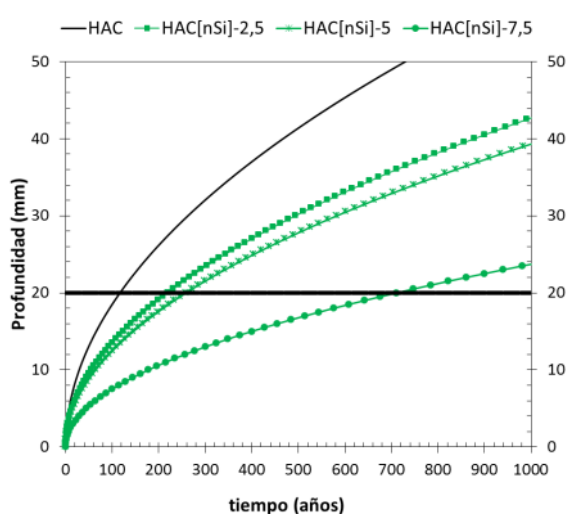


Figura 6. Penetración de cloruros por difusión natural en función del tiempo

De acuerdo con esta gráfica, considerando un recubrimiento de 20 mm, el tiempo que tendría que transcurrir para iniciarse la corrosión es significativamente mayor cuanto mayor es el contenido en nSi. Este tiempo sería superior a 100 años en todos los hormigones diseñados, siendo de 219, 258 y 710 años para HAC[nSi]-2,5, HAC[nSi]-5 y HAC[nSi]-7,5 respectivamente. Esto puede suponer que con la adición de nSi se podrían reducir los espesores de recubrimiento en situaciones de ambientes agresivos, y se podrían llegar a diseñar estructuras con recubrimientos no excesivos que garanticen su durabilidad durante la vida útil que establece la normativa.

Conclusiones

La adición de nano-sílice, a pesar de la gran demanda de superplastificante, genera una pérdida en la docilidad del hormigón fresco, dificultando su manipulación. Además reduce el tiempo de inicio del fraguado e incrementa la velocidad del mismo.

El aumento de la cantidad de nanosílice en el hormigón autocompactante produce un aumento de su resistencia a compresión ya que además de las reacciones de hidratación del cemento, se producen compuestos derivados de la reacción puzolánica y del efecto filler de la nSi. Esto proporciona hormigones muy compactos con bajas porosidades totales, en los que la adición refina la estructura porosa con una notable

disminución del tamaño medio de sus poros. Esto produce hormigones con una microestructura más homogénea y densa y por tanto menos susceptible de ser dañada por agentes agresivos.

Así, la adición de nano-sílice mejora el comportamiento de estos hormigones frente a la penetración de iones cloruro, reduciendo su coeficiente de difusión de forma exponencial con respecto a la cantidad de nano-sílice contenida en el hormigón. Por lo tanto, la incorporación de nSi permite fabricar hormigones más resistentes, más compactos, y consiguientemente, más durables, dándose la posibilidad de reducir los espesores de recubrimiento en elementos expuestos a agentes agresivos, garantizando su durabilidad durante la vida útil que establece la normativa. Estos aspectos, unidos a la ventaja propia de estos hormigones, en los que se hace innecesario el vibrado, presentan una clara mejora tanto económica como de sostenibilidad, adecuándose perfectamente a su uso para la prefabricación de elementos constructivos en el medio agrícola en general y los alojamientos ganaderos, en particular.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Economía y Competitividad mediante el Proyecto MAT2013-48009-C04-04-P.

Bibliografía

- Arefi, M.R., Javaheri, M.R., Mollaahmadi, E., Zare, H., Abdollahi Nejand, B., Eskandari, M., 2011. Silica nanoparticle size effect on mechanical properties and microstructure of cement mortar. *Journal of American Science*, 7(10).
- Beigi, M. H., Berenjian, J., Omran, O. L., Nik, A. S., Nikbin, I. M., 2013. An experimental survey on combined effects of fibers and nanosilica on the mechanical, rheological, and durability properties of self-compacting concrete. *Materials and Design*. pp 1019–1029
- Bjornstrom, J., Martinelli, A., Matic, A., Borjesson, L., Panas, I., 2004. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium-silica-hydrate formation in cement. *Chem Phys Lett* 392 (1-3), 242-248.
- Borralleras, P., 2012. Criterios de selección del aditivo superplastificante en HAC. 3º Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante: Avances y oportunidades. Madrid, 3-4 diciembre.
- Byung-Wan, J., Chang-Hyun, K., Ghi-ho, T., Jong-Bin, P., 2007. Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials* 21, 1351–1355.
- Craeye, B., Van Itterbeeck, P., Desnerck, P., Boel, V., De Schutter, G., 2014. Modulus of elasticity and tensile strength of self-compacting concrete: Survey of experimental data and structural design codes. *Cement and Concrete Composites* 54, 53–61.
- Dubey, R., Kumar, P., 2012. Effect of superplastizer dosage on compressive strength of self compacting concrete. *International Journal of civil, structural, environmental and infrastructure engineering research and development*, vol. 2 (3), pp 98-105.
- EHE-08, 2010. Instrucción de Hormigón Estructural. Serie Normativa, Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. 4ª Edición. Madrid. España.
- Fernández Cánovas, M. 2013. Hormigón. (10rd Ed.), Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Spain.
- He, X., Shi, X., 2008. Chloride permeability and microstructure of Portland cement mortars incorporating nano-materiales. *Transport Re Boar Record: J Transport Res Board*. 2070, 13-21.

- Jalal, M., Mansouri, E., Sharifipour, M., Pouladkhan, A. R., 2012. Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO₂ micro and nanoparticles. *Materials and Design* 34, 389–400.
- Jo, B-W., Kim, C-H., Tae, G-h., Park, J-B., 2007. Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials* 21, 1351–1355.
- Kawashima, S., Hou, P., Corr, D.J., Shah, S.P., 2013. Modification of cement-based materials with nanoparticles. *Cement and Concrete Composite*. 36, 8-15.
- León, N., Massana, J., Alonso, F., Moragues, A., Sanchez-Espinosa, E., 2014. Effect of nano-SiO₂ and nano-Al₂O₃ on cement mortars for use in agriculture and livestock production. *Biosystems engineering* 123, I-II.
- Li, H., Zhang, M.-h., Ou J.-p. 2007. Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement. *Int. J. Fatig.* 29 (7), 1292-1301.
- Massana, J., Guerrero, A., Antón, R., Garcimartin, M.A., Sánchez, E., 2013. The aggressiveness of pig slurry to cement mortars. *Biosystems Engineering*, 114, 124-134.
- Nazari, A., Riahi, S., 2010. Microstructural, thermal, physical and mechanical behavior of the self-compacting concrete containing SiO₂ nanoparticles. *Materials Science and Engineering A* 527.7663–7672.
- Okamura, H., Ozawa, K., 1996. Self-compactable high-performance concrete in Japan. *ACI special publication SP159-02*, pp. 31-44.
- Okamura, H., 1997. Self-compacting high-performance concrete. *Concrete International*, 19(7), 50-54.
- Okamura, H., Ouchi, M., 1999. Self-compacting concrete development, present and future. *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, pp. 3-14.
- Okamura, H., Ozawa, K., Ouchi, M., 2000. Self compacting concrete. *Structural Concrete*, 1, pp. 3-17.
- Okamura, H., Maekawa, K., Mishima, T., 2005. Performance based design for self-compacting structural high-strength concrete. *ACI special publication SP228-02*, pp. 13- 33.
- Romero, H.L., Gálvez, J.C., Lucena, I., Moragues, A., 2012. Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón autocompactante con adición de microsilíce y nanosilíce”. *Anales del 3º Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante Avances y oportunidades*. Pp 293 -302
- Rong, Z., Sun, W., Xiao, H., Jiang, G., 2015. Effects of nano-SiO₂ particles on the mechanical and microstructural properties of ultra-high performance cementitious composites. *Cement & Concrete Composites* 56, 25–31.
- Said, A.M., Zeidan, M.S., Bassuoni, M.T., Tian, Y., 2012. Properties of concrete incorporating nano-silica. *Construction and Building Materials* 36. 838–844.
- Sánchez, F., Sobolev, K., 2010. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*. 24, 2060–2071.
- Schmidt, M., Amrhein, K., Braun, T., Glotzbach, C., Kamaruddin, S., Tänzer, R., 2013. Nanotechnological improvement of structural materials - Impact on material performance and structural design. *Cement and Concrete Composite*. 36, 3-7.
- Yu, R., Spiesz, P., Brouwers, H.J.H., 2014. Effect of nano-silica on the hydration and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with a low binder amount. *Construction and Building Materials* 65,140–150.
- Zhang, M-h., Li, H., 2011. Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano-particles for pavement. *Construction and Building Materials* 25, 608–616.
- Zyganitidis, I., Stefanidou, M., Kalfagiannis, N., Logothetidis, S., 2011. Nanomechanical characterization of cement-based pastes enriched with SiO₂ nanoparticles. *Materials Science and Engineering B*, 176, 1580-1584.

C11 - Análisis de las acciones variables de viento y nieve según C.T.E. en construcciones agroindustriales de pórticos metálicos.

Serna Jara, L.M.¹, Flores Yepes, J.A.², Pastor Pérez, J.J.², Berná Serna, J.M.², Gimeno Blanes, J.², Martínez Gabarrón, A.², Moneo Peco, L.³.

¹ Ingeniero ejercicio libre. Murcia (luism.serna@hotmail.com), ² Universidad Miguel Hernández de Elche. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Orihuela. Alicante (ja.flores@umh.es; jjpastor@umh.es; juanm.berna@carm.es; javier.gimeno@umh.es; antonio.martinez@umh.es), ³ Consejería de Industria de Región de Murcia. (lumopesaya@gmail.com)

Resumen

En la presente ponencia se realiza el análisis del pórtico tipo a diferente luz, de una nave de estructura metálica de perfil laminado y sección constante. Se avalúan los resultados para diferentes situaciones de acciones variables según el Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la Edificación DB-AE, del Código Técnico De la Edificación, C.T.E.; y más concretamente para la acción del Viento a distintas velocidades (26, 27, 29 m/s) según zona de actuación A, B, y C; respectivamente. Además se analiza la influencia en el resultado de la acción variable de Nieve, en función de la altitud, y si es inferior o superior a 1000 m sobre el nivel del mar. El cálculo se realiza con herramienta informática de la empresa Cype Ingenieros

Palabras clave: Cargas, diseño, nave, edificación, perfil.

Variables analysis of shares by wind and snow in buildings agribusiness of steel structure.

Abstract

This paper analyzes the gantry to different span, an agribusiness building rolled metal profiles for different situations constant section of variable actions are performed according to the Basic Document Security in Building Structural Actions DB-AE, the Technical Code of Construction, CTE; and more specifically to the action of wind at different speeds (26, 27.29 m / s) of action by zone A, B, and C; respectively. And the other variable load action is Snow, depending on the altitude, if lower than 1000 m above sea level. The tool we use for this will be free software Generador de Pórticos and Metal 3D, CYPE proprietary software.

Keywords: Loads, design, industrial unit, building, profile.

Introducción.

En la actualidad podemos observar que en el ámbito de las construcciones de naves metálicas agroindustriales se realizan mediante pórticos rígidos de sección constante, dejando relegado a un segundo papel la construcción a base de cerchas, solo para casos específicos, como por ejemplo para cámaras de refrigeración, congelación, etc.; pero esto es otro análisis que se puede realizar para posteriores ponencias, la idoneidad de utilizar un sistema estructural u otro, y de hecho ya hay realizados estudios en relación a la tipología estructural que estará en función de criterios de diseño, tipo de uso y presupuesto.

Este análisis trata de ver cómo afecta las cargas variables de viento y nieve que se producen en un pórtico tipo de una nave industrial para distintas situaciones de carga en función del emplazamiento y la cota de nieve.

Objetivo.

El objetivo del estudio que se presenta en esta comunicación es realizar una comparación en función de los kilos de acero y volumen de hormigón dado que la evaluación económica depende del precio del acero y hormigón, y estos variarán en relación al emplazamiento, dado que el análisis se realiza para cuatro emplazamientos distintos de la geografía de España, como son Córdoba, Murcia, Santander y Ávila.

Material y Métodos

Diseño de la estructura.

Los parámetros dimensionales del pórtico que se han fijado son: la altura de pilar, es 8 metros, y la pendiente, del 10 %, las luces de los pórticos será variable, se realizará el estudio para luces de 10, 20, 30 y 40 metros; como se muestra a continuación:

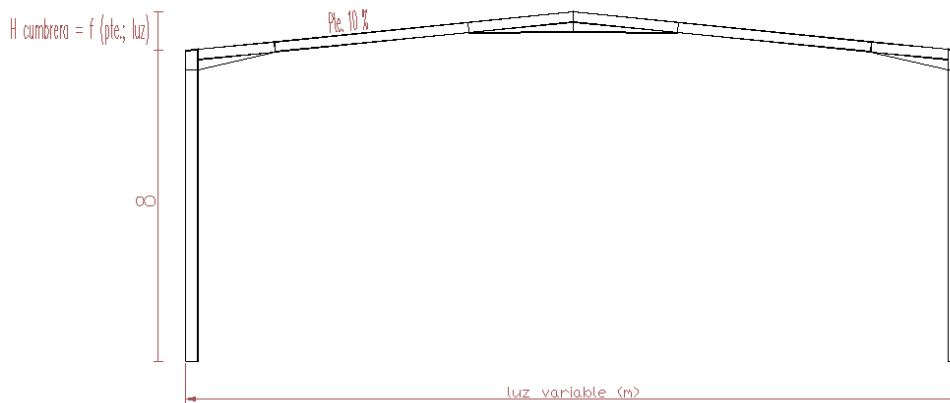


Fig. 1: Pórtico tipo empleado en el estudio.

La cubierta se ha considerado, una cubierta tipo panel sándwich. Las correas que sustentan la cubierta se han considerado de acero conformado en frío, de la serie ZF, por ser mejor, su relación resistencia/peso. El pórtico se ha dimensionado con perfiles laminados de sección constante de la serie IPE, porque es la serie que para un mismo peso, proporciona una mayor resistencia en su plano fuerte. Los dinteles se han acartelado en aquellos caso en los que se conseguía una reducción del perfil.

Los cerramientos de la nave se consideran a base de placas prefabricadas de hormigón que descansarán sobre la viga de atado de zapatas de cimentación, estas placas arriostrarán el pilar a pandeo, es decir, estas placas limitarán la capacidad de pandeo del pilar, transmitiéndole los esfuerzos de viento que recibe.

La cimentación se realizará mediante zapatas rectangulares excéntricas.

Acciones y parámetros considerados en el cálculo.

Para el estudio del pórtico tipo a distintas luces y emplazamientos, se considerará una nave de 25 m de profundidad y una separación entre pórticos de 5 m. El pórtico objeto de estudio se ha ubicado en distintas zonas geográficas de España, así como han distintas cotas sobre el nivel del mar; las zonas consideradas son:

Tabla 1. Emplazamiento del pórtico tipo.

Emplazamiento	Zona a efectos de carga variable de viento según DB-AE. anejo D C.T.E.	Zona a efectos de carga variable de nieve según DB-SE
Córdoba	A	≤ 1000 m ; ≥ 1000 m
Murcia	B	≤ 1000 m ; ≥ 1000 m
Santander	C	≤ 1000 m ; ≥ 1000 m
Avila	D	≥ 1000 m

Las acciones constantes a las que se someterá el pórtico según DB-AE del C.T.E., se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Acciones constantes consideradas para el cálculo del pórtico tipo.

Acción	Tipo	Objeto	Peso (KN/m ²)
Permanente	Peso Propio	Cubierta a base de Panel sándwich	0,15
Variable	Sobrecarga de uso	G1, cubierta accesible únicamente para conservación con inclinación inferior a 20°	0,40*
* Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables; es decir, nadie va acceder a labores de conservación de cubierta en un día de mucho viento, o con la cubierta nevada.			

Los parámetros de cálculo de la acción variable de viento a las que se someterá el pórtico según DB-AE del C.T.E., se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Parámetros de la acción variable de viento

Acción VariableViento	Zona Eólica	Grado de Aspereza	Periodo de servicio (años)	Profundidad Nave (m)	Huecos	Tipo cubierta	Pte. (%)
Córdoba	A	IV. Zona urbana, industrial o forestal	50	25	No*	2 aguas	10
Murcia	B						
Santander	C						
Avila	A						
* No se consideran huecos, dado que el estudio y análisis se realiza sobre el pórtico tipo							

Los parámetros de cálculo de la accione variables de nieve a las que se someterá el pórtico según DB-AE del C.T.E., se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4. *Parámetros de la acción variable de nieve*

Acción Variable Nieve	Zona Clima Invernal	Grado de Aspereza	Altitud Topográfica (m)	Profundidad Nave (m)	Resaltos en Cubierta	Exposición al viento
Córdoba	6	IV. Zona urbana, industrial o forestal	100	25	No	Normal
Murcia	6		40			
Santander	1		0			
Avila	3		1130			

Para una categoría de uso G, según el DB-SE, cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento las combinaciones de acciones para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar son:

Tabla 5. *Coeficientes Estado Límite Último de rotura del hormigón*

E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08-CTE. Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Tabla 6. *Coeficientes Estado Límite Último de rotura del hormigón en cimentaciones*

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-08 / CTE DB-SE C Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.600	1.000	0.500

Tabla 7. Coeficientes Estado Limite Ultimo de rotura del acero laminado

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB-SE A Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (g)		Coeficientes de combinación (y)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (y_p)	Acompañamiento (y_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Tabla 8. Coeficientes de Tensión sobre el terreno

Tensiones sobre el terreno. Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (g)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000

Tabla 9. Coeficientes de desplazamiento

Desplazamientos. Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (g)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000

Tabla 10. Límite de deformaciones.

Deformaciones	
Límite de la flecha	L/300
Nº de vanos correas de cubierta	3 ó más
Tipo de fijación correas de cubierta	Rígida

Software utilizado para el cálculo.

Para el cálculo de las correas metálicas de cubierta se ha empleado el generador de pórticos de CYPE, y para el cálculo de las secciones de pilares y dinteles del pórtico tipo, así como la cimentación, se ha empleado el METAL 3D de CYPE, versión libre.

Resultados.

Tabla 11. Resultados de correas de cubierta.

CORREAS DE CUBIERTA															
Emplazamiento	Zona Eólica	cota inferior a 1000 m	cota superior a 1000 m	tipo de cubierta	pendiente (%)	luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbreira (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m2)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m2)	tipo de correa	peso correa (kp/m)	peso Superficial (kN/m2)	separacion de correas (m)	nº de correas
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	10	8	8,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 250x2,5	67,57	0,07	1,5	8
											ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,7	8
Murcia	B	x	x								ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,6	8
											ZF 200x3,0	88,81	0,09	1,2	10
Santander	C	x	x								ZF 300x2,5	75,42	0,07	1,6	8
Avila	A		x	2 aguas	10	20	8	9	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 275x2,5	71,5	0,07	1,4	8
											ZF 225x3,0	75,75	0,07	1,5	8
Cordoba	A	x	x								ZF 225x2,5	95,47	0,05	2	12
											ZF 200x2,5	104,52	0,05	1,7	14
Murcia	B	x	x								ZF 225x3,0	113,63	0,06	2,2	12
Santander	C	x	x	2 aguas	10	20	8	9	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 200x3,0	106,57	0,05	1,9	12
											ZF 250x3,0	120,7	0,06	2,2	12
											ZF 200x2,0	120,21	0,06	1,1	20
Avila	A		x								ZF 180x2,5	110,71	0,05	1,2	18
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	30	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 40x2,5	171,7	0,06	1	32
											ZF 180x2,0	128,93	0,04	1,2	26
Murcia	B	x	x								ZF 180x2,0	148,77	0,05	1,1	30
											ZF 180x2,5	159,92	0,05	1,3	26
Santander	C	x	x								ZF 180x2,5	184,52	0,06	1,1	30
Avila	A		x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 200x2,0	144,26	0,05	1,3	24
											ZF 200x2,0	120,21	0,04	1,6	20
Cordoba	A	x	x								ZF 140x2,5	203,9	0,05	1,1	38
											ZF 180x2,0	158,68	0,04	1,3	32
Murcia	B	x	x								ZF 180x2,0	178,52	0,04	1,2	36
Santander	C	x	x	2 aguas	10	40	8	10	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	ZF 200x2,0	156,28	0,04	1,6	26
											ZF 180x2,5	221,42	0,05	1,2	36
											ZF 200x2,5	179,17	0,04	1,8	24
Avila	A		x								ZF 180x2,0	158,68	0,04	1,3	32

Tabla 12. Resultados de perfiles estructurales

Estructura																
Emplazamiento	Zona Eólica	cota inferior a 1000 m	cota superior a 1000 m	tipo de cubierta	pendiente (%)	luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbrea (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m2)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m2)	Tipo Perfil Pilar	Tipo Perfil Dintel	Cartelas Dintel	Peso Pilares y Dinteles (Kp)	Peso Placas de Anclaje (Kp)	Peso Pernos de placas de Anclaje (Kp)
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	10	8	8,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	IPE 270	IPE 200	No	801,34	63,16	20,78
		x									IPE 270	IPE 200	No	801,34	63,16	20,78
Murcia	B	x	x								IPE 270	IPE 200	No	801,34	63,16	22,26
											IPE 270	IPE 200	No	801,34	63,16	20,78
Santander	C	x	x								IPE 270	IPE 200	No	801,34	84,53	32,73
Avila	A		x		IPE 270	IPE 200	No	801,34			84,53	32,73				
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	20	8	9			IPE 270	IPE 240	No	884,97	63,16	20,78
											IPE 330	IPE 270	SI	1672,84	84,43	26,02
											IPE 330	IPE 330	NO	1773,98	84,43	23,8
Murcia	B	x	x								IPE 330	IPE 270	SI	1672,84	84,43	23,8
											IPE 330	IPE 330	NO	1773,98	84,43	23,8
Santander	C	x	x		IPE 330	IPE 300	SI	1838,72			108,59	35,13				
				IPE 330	IPE 330	SI	2036,92	108,59			35,13					
Avila	A		x		IPE 450	IPE 330	SI	2500,99			143,28	39,9				
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	30	8	9,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	IPE 450	IPE 400	SI	3684,09	158,79	44,52
											IPE 450	IPE 400	SI	3684,09	158,79	44,52
Murcia	B	x	x								IPE 450	IPE 400	SI	3684,09	158,79	44,52
											IPE 450	IPE 400	SI	3684,09	158,79	44,52
Santander	C	x	x								IPE 500	IPE 400	SI	3900,13	170,62	49,14
Avila	A		x		IPE 500	IPE 400	SI	3900,13			170,62	49,14				
				IPE 600	IPE 450	SI	4857,15	337,7			86,96					
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	40	8	10			IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7	86,96
											IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7	86,96
Murcia	B	x	x								IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7	86,96
											IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7	86,96
Santander	C	x	x								IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7	86,96
				IPE 600	IPE 500	SI	6409,26	337,7			86,96					
Avila	A		x		IPE 600	IPE 500	SI	6409,26			337,7	86,96				
					IPE 600	IPE 600	SI	8541,95			359,16	105,9				

Tabla 13. Resultados de cimentación

CIMENTACION																
Emplazamiento	Zona Eólica	cota inferior a 1000 m	cota superior a 1000 m	tipo de cubierta	pendiente (%)	luz (m)	Altura de Pilar (m)	Altura de Cumbreira (m)	Peso cerramiento de cubierta (KN/m2)	Sobrecarga de cerramiento (KN/m2)	Dimensiones (cm)	Peso parrilla de armado (Kp)	Volumen de Hormigón (m3)	Volumen de Hormigón de Limpieza (m3)		
Cordoba	A	x	x	2 aguas	10	10	8	8,5	0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	185x340x75	168,26	9,44	1,26		
			x								185x340x75	162,43	9,44	1,26		
Murcia	B	x									185x340x75	162,43	9,44	1,26		
			x								185x340x75	162,43	9,44	1,26		
Santander	C	x		190x345x75	159,39	9,83	1,31									
			x	190x345x75	159,39	9,83	1,31									
Avila	A		x	165x320x70	130,09	7,39	1,06									
Cordoba	A	x		2 aguas	10	20	8	9			170x345x75	163,5	9,07	1,1		
			x								170x345x75	156,88	8,8	1,17		
Murcia	B	x									190x345x75	159,39	9,83	1,31		
			x								180x345x75	165,22	9,32	1,24		
Santander	C	x		195x370x80	211,99	11,54	1,44									
			x	195x370x80	211,99	11,54	1,44									
Avila	A		x	175x340x75	154,26	8,93	1,19									
Cordoba	A	x		2 aguas	10	30	8	9,5			0,15 (Panel sandwich)	0,4 (sobrecarga de cerramiento de cubierta, tabla 3,1 DB SE-AE, categoría G1)	175x350x85	184,84	10,41	1,23
			x						195x360x85	208,56			11,93	1,4		
Murcia	B	x							195x360x85	208,56			11,93	1,4		
			x						195x360x85	208,56			11,93	1,4		
Santander	C	x		195x385x95	251,57	14,26	1,5									
			x	195x385x95	251,57	14,26	1,5									
Avila	A		x	205x405x100	294,26	16,61	1,66									
Cordoba	A	x		2 aguas	10	40	8	10	215x425x100	329,87			18,28	1,83		
			x						215x415x105	334,2			18,74	1,78		
Murcia	B	x							215x425x100	329,87			18,28	1,83		
			x						225x425x105	360,07			20,08	1,91		
Santander	C	x		215x425x100	368,59	21,04	1,91									
			x	225x425x110	368,59	21,04	1,91									
Avila	A		x	225x445x125	441,17	25,03	2									

Conclusiones.

A la vista de resultados se puede apreciar que para la zona eólica A, para luces por ejemplo de 10 m se produce un incremento en el peso de las correas de cubierta de un 6% con respecto a la cota de nieve inferior y superior de 1000 m. Para la siguiente luz de 20 metros, para la misma zona eólica se produce un incremento del 9,42 % en el peso de las correas.

Con respecto al peso del pórtico tipo, se puede observar, que para luces de 10 metros, las acciones variables de viento y nieve no influyen prácticamente (801,34 kp). Para luces de 20 m. se puede apreciar que se produce un incremento no por zona eólica, sino por la cota de nieve superior a 1000 metros, en un 6%. Para luces de 30 metros la influencia de la carga de viento es más apreciable (Zona C, Santander) que respecto a la carga variable de nieve. Con respecto a la luz de 40 metros, para el análisis que hemos realizado de las tres ciudades en cuestión se aprecia que los perfiles son idénticos.

Como apreciación, se puede observar que para la ciudad de Ávila, los perfiles son superiores a la ciudad de Córdoba que es de zona eólica idéntica, para todas las luces del pórtico tipo, ello es debido a su altitud topográfica por encima de los 1100 metros.

Bibliografía.

- CYPE (2010.e). Software Generador de pórticos y Nuevo Metal 3D. CYPE Ingenieros.
- EHE 08. "Instrucción de Hormigón Estructural". Ministerio de Fomento.
- Código Técnico de la Edificación, C.T.E., RD 314/2006

C12 – Evaluación del sobrante de agua de amasado sobre la pérdida de resistencia en morteros de sulfato calcico adicionados con vermiculita.

Berná Serna, J.M.¹, Flores Yepes, J.A.¹, Gimeno Blanes, J.², Serna Jara, L.M.¹, Moneo Peco, L.¹, Pastor Pérez, J.J.¹

¹ Departamento de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche. 03312 Orihuela .Alicante, (juanm.berna@carm.es); (ja.flores@umh.es); (luis_m_serna@hotmail.com); (lumopesaya@gmail.com). (jjpastor@umh.es); ²Universidad Miguel Hernández de Elche. Alicante (javier.gimeno@umh.es)

Resumen

La cantidad de agua utilizada en el amasado, es un elemento estrictamente necesario para la elaboración de la pasta de yeso, influyendo directamente su proporción sobre las propiedades de resistencia mecánica del producto resultante. Cuando se añade vermiculita al proceso de fabricación de mortero, se produce un efecto negativo en la trabajabilidad del mortero, debido a que esta absorbe parte del agua adicionada en el proceso de amasado, teniéndose que aumentar la relación agua yeso.

Debido al efecto de absorción de la vermiculita sobre el agua de amasado y en relación directa con una pérdida de resistencia del mortero obtenido, se ve la necesidad de cuantificar el agua y la perdida de resistencia sobre las propiedades mecánicas a las que afecta. Para poder conseguir estos resultados se ha utilizado la relación de agua/yeso (A/Y) inicial y la final sin vermiculita y con vermiculita, analizando el exceso añadido y calculando la perdida de resistencia resultante.

Palabras clave: Flexión de morteros de yeso, trabajabilidad de morteros de yeso, relación agua-yeso, fraguado de morteros de yeso.

Evaluation of influence of excess of mixing water on the loss of calcium sulfate resistance in mortar with added vermiculita.

Abstract

The amount of water used in mixing, is a necessary element for the production of plaster, directly influencing their ratio on the properties of mechanical strength of the resulting product. When vermiculite is added to the manufacturing process of mortar, it produces a negative impact on the workability of the mortar, because this absorbs some of the water added in the kneading process, taking that increase the relationship water/plaster.

This causes a loss of strength of mortar retrieved so it is necessary to quantify the effect of the water and the loss of resistance on the mechanical properties affected. In order to achieve these results has been used the ratio of water/plaster (W/P) initial and final without vermiculite and vermiculite, added excess analysing and calculating the resulting resistance loss

Keywords: Flexion, workability, ratio water-plaster, hardening

Introducción

Con éste estudio se pretende evaluar el sobrante de agua aportado en la operación de amasado de yeso con vermiculita, y su efecto sobre la resistencia final del producto terminado. La vermiculita es un material poroso, con capacidad para la absorción de agua en su interior, si bien para determinadas propiedades como el aligerado de materiales (Densidad), puede ser una ventaja, para otras propiedades mecánicas puede no ser tanto (según el uso final del producto terminado).

El siguiente estudio va a recaer en el efecto que produce el exceso de agua añadida para poder amasar el compuesto de sulfato de calcio (Del Río Merino, M, 1999); se

observa como existe una disminución de resistencia, cuantificando el valor de dicha pérdida, y encontrando el valor teórico que se produciría sin esta merma.

La propiedad mecánica de resistencia a flexión va a ser la que se tendrá en cuenta para la realización de este artículo, ya que pensamos que es la más representativa y que más luz va a echar sobre nuestra investigación, a la vez que es la más utilizada en otros estudios, de similares características, para comparativas de medida de la resistencia mecánica.

Material y Métodos

Para la realización de todos los ensayos se ha tendido en cuenta la normativa española, en concreto el nuevo CTE, si bien, se han realizado los ensayos con otras normativas (AENOR), ya que son las que mejor aconsejan los procedimientos a seguir.

Los materiales que se han utilizado en este estudio han sido: yeso moreno (de peor calidad que el yeso blanco, además de un menor precio de mercado), vermiculita de grano fino (se podría llegar a considerar como un residuo en la fabricación industrial de vermiculita), agua de la red de agua potable, controlando la temperatura y humedad del laboratorio, aditivo, a base de ácidos policarboxílicos, para control del fraguado.

El parámetro con el que vamos a desarrollar el estudio es la relación existente de agua y yeso (A/Y a partir de ahora), y la A/Y a utilizar va a ser de 0,5 en volumen, con una adición ascendente de vermiculita de 10, 20, 30, 50 y 70%. (Berná Serna, JM). También, vamos a tomar como referencia en la comparación otro ensayo de comportamiento de resistencia a flexión con diferentes A/Y desde 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 y 0,9. (Berná Serna, JM).

Se fabrican 90 probetas de ensayo, mediante el sistema de 3 amasados diferentes y 3 probetas por amasado para cada A/Y, dando un total de 45 probetas por ensayo (45 para la relación variable de A/Y y otras 45 para las adiciones de vermiculita).

La concentración de aditivo a utilizar es al 3‰ sobre el agua de amasado. (Berná Serna, JM).

El amasado ha sido manual, desechando la amasadora eléctrica por dos razones: la primera la poca cantidad de material en cada amasado necesaria para fabricar las probetas a ensayar, y la segunda, por la gran cantidad de pérdidas que producen las palas al girar.

Debido a las características intrínsecas del yeso y la poca cantidad de agua a utilizar en el amasado, se justifica el empleo del catalizador de control de fraguado para conseguir una trabajabilidad adecuada.

La vermiculita es un material que retiene agua en su interior, por lo tanto, cuando es introducida en el amasado, retiene parte del agua utilizada para este proceso, dificultando la trabajabilidad del mortero que queremos obtener

El procedimiento a seguir es el siguiente: con respecto a la A/Y de amasado será de 0,5. Se puede amasar perfectamente usando el aditivo indicado. A medida que aumentamos la proporción de vermiculita, en %, se hace inviable el amasado, por tanto necesitamos añadir pequeñas cantidades de agua, varias veces, hasta conseguir que se pueda realizar la labor de consecución de una mezcla homogénea y trabajable. Las cantidades

de agua aportada son pesadas previamente para poder tener un control sobre el resultado

Se han fabricado, ex profeso, unos moldes de silicona con las recomendaciones que aconseja la norma UNE-EN 13279-2 y la norma RY-85 (norma derogada aunque sigue usándose como referencia), con unas medidas de 40x40x160mm para la fabricación de las probetas de yeso (Figura 1).

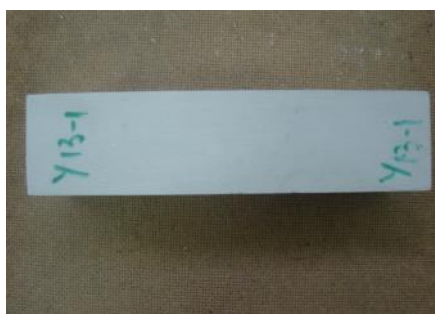


Figura 1: Probeta de yeso de 40x40x160mm

El primer ensayo a realizar ha sido el de yeso con diferentes relaciones A/Y (desde 0,5 hasta 0,9). No siendo necesario el aporte de agua añadida para poder amasar y obtener las probetas.

Las probetas han sido sacadas de los moldes cuando han fraguado, no siendo este tiempo inferior a 24 horas y se han puesto a secar en estufa durante 7 días. Transcurrido este tiempo, se ha controlado su peso hasta obtener un valor constante (UNE-EN 196-1).

Una vez conseguido el peso constante, las probetas han sido rectificadas por su cara superior para conseguir las dimensiones estipuladas por la norma UNE-EN 13279-2. Después han sido medidas en todas sus dimensiones, antes de ser usadas para obtener el parámetro de flexión en la máquina universal de ensayos. Con los resultados obtenidos se han calculado las medias para cada A/Y, y se ha obtenido la ecuación de la recta y el valor R cuadrado. Esta ecuación nos va a servir para poder calcular el valor a flexión de la relación A/Y final, compuesta por la relación A/Y=0,5 más el agua añadida.

El segundo ensayo a realizar ha sido el de yeso (con A/Y de 0,5 de referencia) y diferentes porcentajes de vermiculita (10, 20, 30, 50 y 70%), donde vamos añadiendo agua extra tal y como se ha descrito, para mantener la trabajabilidad de la pasta. Llegado a este punto se produce un cambio en la A/Y debido al agua aportada.

Una vez producidas las probetas son ensayadas en la máquina universal de ensayos (Figura 2), obteniendo un valor de resistencia a flexión para cada uno de los porcentajes de vermiculita ensayados.



Figura 2: Rotura de probetas en máquina universal de ensayos

En este punto, sabemos los valores a flexión de yeso y A/Y inicial 0,5; ecuación de la curva para el cálculo de flexión en función de A/Y final (esta relación A/Y final estaría compuesta por la relación A/Y 0,5 más el agua añadida); los valores de flexión de yeso con vermiculita y el agua añadida en el amasado.

Con la A/Y final, y mediante la ecuación de la curva obtenida anteriormente, calculamos la resistencia a flexión de los morteros con la A/Y inicial más el agua añadida. Si restamos al valor obtenido de A/Y inicial 0,5 y el nuevo valor obtenido de A/Y final, tendríamos el valor de resistencia a flexión del agua añadida.

Para terminar, al valor de resistencia a flexión de las probetas (con yeso, vermiculita, A/Y inicial y agua añadida) le restamos el valor de resistencia a flexión que produce el agua añadida en la matriz, nos queda el valor de resistencia del producto con el porcentaje de vermiculita y sin el agua añadida.

El proceso estadístico a seguir ha sido el de calcular la media aritmética de los valores, desviación estándar y el coeficiente de variación, procediendo después a la informatización de los datos para obtener el estudio estadístico.

El software utilizado para la realización del estudio estadístico ha sido SPSS 10

Resultados y Discusión

En el primer ensayo, los resultados obtenidos a flexión para diferentes relaciones A/Y se observan en la Tabla 1, donde se puede apreciar una disminución de la resistencia, a medida que se añade más cantidad de agua a la pasta de amasado. Para la comparativa vamos a utilizar, como referencia, el valor de resistencia a flexión para una A/Y de 0,5, con una aplicación de aditivo del 3‰.

Tabla 1: Valores obtenidos a flexión en función de A/Y aportada.

A/Y	Flexión (N/mm ²)
0,5	4,97
0,6	3,07
0,7	2,59
0,8	2,02
0,9	1,57

En la Figura 3 se puede ver los resultados del ensayo de flexión para diferentes A/Y, donde podemos apreciar la ecuación de curva (con ajuste de potencial) y el resultado de la Erre Cuadrado, donde se denota un buen ajuste.

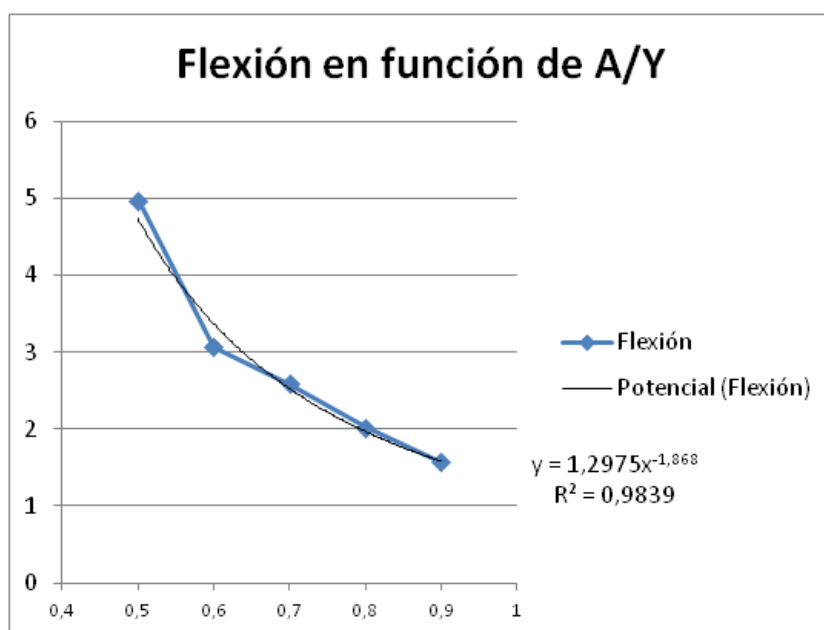


Figura 3: Gráfica de dispersión para el parámetro de Flexión en función de A/Y

En la Tabla 3 se pueden apreciar los valores obtenidos en el ensayo de flexión, adicionando vermiculita en porcentajes desde 0% (sin vermiculita) hasta un 70%. Se puede apreciar que a medida aumenta el porcentaje de vermiculita en la pasta de yeso, disminuye la resistencia a flexión.

Tabla 3: Resultado de los valores obtenido a flexión en función de la adición de Vermiculita (%)

Adición (%)	Flexión (N/mm ²)
0	4,97
10	2,84
20	2,52
30	1,98
50	1,56
70	0,36

En el proceso de realización de este ensayo ha variado la A/Y inicial (A/Y 0,5) prevista, debido al aporte de agua añadida que se ha tenido que realizar para conseguir una trabajabilidad del mortero de yeso adecuada, obteniéndose otra A/Y final, como podemos observar en la Tabla 4.

Tabla 4: A/Y inicial y A/Y final tras añadir agua necesaria para el amasado.

A/Y Inicial	A/Y Final
0,5	0,5
0,5	0,54
0,5	0,56
0,5	0,58
0,5	0,79
0,5	1,22

Con el nuevo valor obtenido (A/Y final) y la ecuación de la curva, Ecuación 1, calculamos los nuevos valores de resistencia a flexión del mortero de yeso con el sobrante de agua necesaria para un buen manejo del producto.

$$y = 1,2975x^{-1,868} \quad (1)$$

Los resultados obtenidos de la aplicación de la Ecuación (1) en los valores de A/Y final se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultado de los valores obtenido a flexión con la nueva A/Y final.

% de Vermiculita	A/Y Final	Disminución de resistencia por aumento de A/Y Final (*)(N/mm ²)
10	0,54	4,08
20	0,56	3,81
30	0,58	3,61
50	0,79	2,02
70	1,22	0,89

(*) Valores obtenidos con la ecuación de la curva de ajuste.

Haciendo un resumen de todos los resultados obtenidos, los podemos representar en la siguiente tabla resumen, Tabla 6.

Tabla 6: Tabla resumen con los resultados obtenidos a flexión.

Adición	Flexión Sin vermiculita y A/Y Inicial de 0,5	Disminución de Flexión por A/Y Final (*)	Flexión VL+A/Y Final (**)
10% VL	4,97	4,08	2,84
20% VL	4,97	3,81	2,52
30% VL	4,97	3,61	1,98
50% VL	4,97	2,04	1,56
70% VL	4,97	0,89	0,36

(*) Valores obtenidos con la ecuación de la curva de ajuste.

(**) Valores obtenidos del ensayo de las probetas en la máquina universal de ensayos.

En la primera columna se disponen las adiciones de vermiculita. En la segunda (flexión YM; A/Y 0,5) los valores a flexión de yeso con A/Y de 0,5. En la tercera (flexión A/Y final) los valores de flexión de la A/Y final con las diferentes proporciones de vermiculita (calculado el parámetro de flexión mediante la ecuación de la curva de ajuste), y en la cuarta columna (flexión VL+A/Y Final) los valores a flexión obtenidos de las probetas con las diferentes proporciones de vermiculita y la A/Y final.

En la Figura 4 se representan los valores a flexión de las diferentes proporciones de vermiculita y agua aportada sobrante.

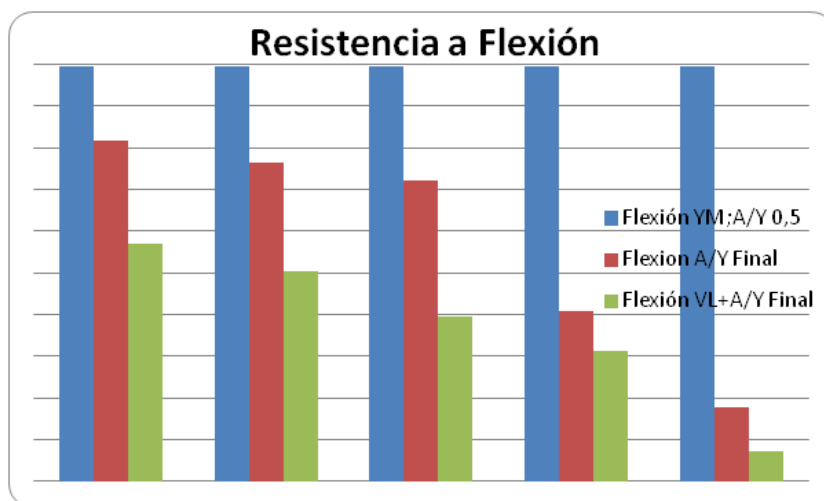


Figura 4: Gráfica de los valores de resistencia a flexión.

En la Tabla 7 hacemos un resumen de las pérdidas de resistencia a flexión de los diferentes tratamientos con vermiculita con el efecto del agua añadida. Podemos diferenciar cada una de las resistencias que forman parte del producto terminado de mortero de yeso.

Tabla 7: Tabla resumen con los resultados de las pérdidas de resistencia a flexión

Adición	A/Y Final - A/Y Inicial 0,5	%(**)	VL+A/Y Final - A/Y Inicial 0,5	%(**)	VL	% (**)
0%VL	0,00	0,00	-	-	-	
10% VL	-0,90	18,03	-2,13	42,83	-1,23	24,80
20% VL	-1,16	23,28	-2,45	49,21	-1,29	25,93
30% VL	-1,36	27,36	-2,99	60,16	-1,63	32,80
50% VL	-2,93	58,95	-3,41	68,61	-0,48 (*)	9,66(*)
70% VL	-4,08	82,09	-4,61	92,76	-0,53 (*)	10,66(*)

(*) Valores críticos.

(**) Tomando de referencia Flexión Sin vermiculita y A/Y Inicial de 0,5

Se puede apreciar, en la Tabla 7, una pérdida de resistencia a flexión, en comparación con el mortero de yeso con una A/Y de 0,5. La pérdida conjunta del porcentaje de vermiculita y A/Y final menos el agua de amasado inicial (A/Y= 0,5) y la pérdida de resistencia producida por el porcentaje de vermiculita sólo.

Tabla 8: Tabla resumen con los resultados de las pérdidas de resistencia a Flexión en porcentaje

Adición	Flexión YM;A/Y inicial 0,5 (N/mm ²)	A/Y Final - A/Y Inicial 0,5 (%)	Vermiculita (%)
10% VL	4,97	18,03	24,80
20% VL	4,97	23,28	25,93
30% VL	4,97	27,36	32,80
50% VL	4,97	58,95	9,66(*)
70% VL	4,97	82,09	10,66(*)

(*) Valores críticos.

En la Tabla 8 se ha hecho un resumen de las pérdidas de resistencia a flexión de las diferentes proporciones de vermiculita en porcentaje. En la primera columna se disponen los datos de flexión, en N/mm^2 , con la relación A/Y inicial. En la segunda columna los valores resultado de la resta entre los valores obtenidos con la ecuación de la curva y los valores de la primera columna de la Tabla 8 en porcentaje, y la tercera columna, los valores de pérdida de resistencia que produciría la vermiculita sola.

Conclusiones

Existe una pérdida de resistencia evidente en la incorporación de agua añadida por amasado, que no se corresponde con la pérdida de resistencia de la propia vermiculita.

Eliminando la porosidad de la vermiculita, esa pérdida de resistencia, probablemente, no se produciría, pudiendo en este caso, aumentarse la resistencia del producto o aumentar los porcentajes de mineral a la matriz.

Se observa que la pérdida de resistencia debido al efecto de agua añadida, para un 50% de vermiculita, supone un porcentaje del 58,95%, respecto a la pérdida conjunta del porcentaje de vermiculita y A/Y Final.

Los resultados son significativos hasta un porcentaje del 50%, a partir del mismo, el agua añadida es tan elevada que el resultado no es significativo, cambiando la tendencia.

Bibliografía

- AENOR. (2006). UNE-EN 13279-1. "Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones."
- AENOR. (2006). UNE-EN 13279-2. "Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo."
- AENOR. (2005). UNE-EN 196-1. "Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas".
- Berná Serna, J. M. (2013). "Evaluación de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso con vermiculita." Tesis Doctoral.
- Del Río Merino, M. (1999). "Elaboración y aplicación constructiva de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibras de vidrio E y otros aditivos." Tesis Doctoral.
- Ministerio de Fomento (1985). "Pliego de recepción de yesos (RY-85)."

C13 - Estudio de las variables de diseño en bodegas de Rioja.

Gómez, J.¹; Tascón, A.²; Altuzarra, A.³; Ayuga, F.⁴

¹ Faber 1900, C/ República Argentina 55, 26007 Logroño, javier@faber1900.com. ² Dpto. de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Av. Madre de Dios 51, 26006 Logroño, alberto.tascon@unirioja.es.

³ Dpto. de Estructura e Historia Económica y Economía Pública, Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, C/ Gran Vía 2, 50005 - Zaragoza, altuzarr@unizar.es. ⁴ BIPREE Research group, Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, francisco.ayuga@upm.es.

Resumen

Un diseño eficiente de la distribución de los espacios de una bodega influye en sus costes de funcionamiento y en la eficiencia y calidad del proceso productivo. Sin embargo, en muchas ocasiones el diseño está más influenciado por razones estéticas, arquitectónicas, de tradición, o por las preferencias del enólogo de la bodega, sin unos criterios claros desde el punto de vista de la ingeniería. En el presente estudio se han estudiado más de 80 bodegas acogidas a la D.O.Ca. Rioja, incluyendo diversas tipologías de bodegas. Se han estudiado bodegas en las tres provincias implicadas (La Rioja, Álava y Navarra). Las bodegas han sido clasificadas en cinco grupos o tipologías: cooperativas, bodegas industriales de más de 2500 m², bodegas industriales de menos de 2500 m², bodegas sin parámetros de diseño industrial y pequeñas bodegas de agricultores. De cada bodega se han obtenido datos sobre 21 variables cualitativas y cuantitativas, con especial énfasis en el diseño en planta de la bodega. Este estudio ha sido planteado con el objetivo de conocer en profundidad las características de las bodegas de Rioja actualmente en funcionamiento y también para extraer datos que nos permitan en un futuro profundizar en el análisis del diseño de bodegas.

Palabras clave: diseño de bodegas, muestreo, áreas funcionales

A study of Rioja wineries: winery classes and plant layout.

Abstract

An optimised winery layout design reduces the production costs and improves the overall efficiency and quality of the wine-making process. However, in many cases the winery design is more influenced by visual and architectural purposes, tradition, or even the preferences of the oenologist than by engineering criteria. In the present study more than 80 Rioja wineries have been surveyed, including wineries in La Rioja, Álava and Navarra. The surveyed wineries have been classified into five different classes: cooperatives, industrial wineries with total area larger than 2500 m², industrial wineries with total area smaller than 2500 m², wineries without industrial design criteria, and small farm wineries. Information about 21 qualitative and quantitative variables has been compiled for the sample, many of them focussed on the winery plant layout. The purpose of this novel study was twofold: firstly, to obtain information about the characteristics of the existing Rioja wineries, and secondly, to collect data in order to continue analysing the winery design in further studies.

Keywords: winery design, sampling, functional areas

Introducción

Las bodegas son edificaciones agroindustriales que presentan una gran variabilidad en su diseño. Cada bodega responde a una serie de factores y restricciones, de importancia variable, incluyendo la actividad productiva a desarrollar, el emplazamiento, orientación y entorno, las condiciones climáticas, el diseño arquitectónico y el efecto estético deseados, la relación con otras actividades económicas, los materiales de construcción disponibles, o la inversión prevista (Jacquet, 1999). Además, en las últimas décadas se han incorporado nuevos condicionantes al diseño de las bodegas, como la adecuada gestión de residuos y sus correspondientes instalaciones (Catalano, 1999), la seguridad contra incendios (Storm, 1997), y las regulaciones urbanísticas, de protección

medioambiental y del paisaje (Torreggiani *et al.*, 2011); las condiciones que imponen estos criterios pueden ser muy variables según el país o incluso la región de la que se trate.

El conjunto de criterios en los que se basa el diseño de bodegas ha evolucionado y seguirá evolucionando a lo largo del tiempo, pero se pueden encontrar condicionantes comunes basados en la funcionalidad del espacio para el proceso productivo que va a llevarse a cabo. Un diseño eficiente de la distribución de espacios influye en los costes de funcionamiento y en la eficiencia, calidad y seguridad del proceso productivo. Sin embargo, en muchas ocasiones el diseño se ve más influenciado por razones estéticas, arquitectónicas, o de tradición, sin unos criterios claros desde el punto de vista de la ingeniería. También pueden tener mucha influencia las especificaciones técnicas impuestas por los enólogos, muchas veces específicas de una bodega en particular y sin posible extrapolación a otros casos, y también las condiciones establecidas por los diferentes sellos de producción. A pesar de la importancia que tiene un diseño eficiente, en la actualidad hay una falta de estudios publicados que aporten información y criterios para enfocar adecuadamente el diseño y la distribución en planta de las bodegas. Torreggiani *et al.* (2014) analizaron en profundidad el diseño de las bodegas de la región italiana de Emilia-Romagna, pero sus características particulares y el pequeño tamaño de las bodegas analizadas dificultan su extrapolación a otras regiones o a bodegas industriales y cooperativas.

La Denominación de Origen Calificada Rioja es una de las más regiones vitivinícolas más antiguas y prestigiosas de España. Esta región vitivinícola comprende una superficie total de 61.840 ha de viñedo, repartidas entre tres Comunidades Autónomas distintas: La Rioja, País Vasco y Navarra (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014). En la campaña de 2013 la producción alcanzó 253,4 millones de litros y las ventas fueron de 174,98 millones de litros en el mercado nacional y 102,18 millones de litros en el mercado internacional, principalmente en Reino Unido, Alemania y USA (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue estudiar y obtener datos sobre variables cualitativas y cuantitativas relacionadas con el diseño en bodegas acogidas a la D.O.Ca. Rioja., con el fin último de poder extraer factores y criterios de diseño que permitan optimizar bodegas existentes y el diseño de bodegas de nueva planta, tanto en Rioja como en otras zonas vitivinícolas con bodegas de similares características.

Material y Métodos

Para estudiar el diseño de las bodegas de vino Rioja se ha recopilado información sobre una muestra de 82 bodegas. La información fue obtenida a partir de (Gómez, 2009):

- publicaciones técnicas.
- actuaciones profesionales.
- información aportada por otros colegas de profesión y por las propias bodegas.
- visitas a bodegas.

De cada bodega se obtuvieron planos de distribución en planta, en papel o en formato digital, y además se generó una ficha de datos con información cualitativa y cuantitativa

de la bodega. A partir de los planos en formato *dwg*, se identificaron y planimetraron las diferentes áreas funcionales y se determinó el área total de cada bodega.

Para la generación de las fichas de bodega, se definió un conjunto de 21 variables cualitativas y cuantitativas a analizar, por su relevancia para el diseño, o su importancia para caracterizar y clasificar la bodega:

1. Situación
2. Actividad
3. Superficie (mayor o menor de 2500 m²)
4. Diseño estético (sí/no)
5. Ubicación en barrio de bodegas (sí/no)
6. Año de fundación
7. Crianza en barrica (sí/no)
8. Parque de barricas (nº barricas)
9. Producción (hl)
10. Superficie total de la bodega (m²)
11. Zona social (m²)
12. Elaboración (m²)
13. Crianza en barricas (m²)
14. Crianza en botella (m²)
15. Embotellado (m²)
16. Zona de servicios (m²)
17. Almacén (m²)
18. Almacenamiento de vino (m²)
19. Equipos industriales (m²)
20. Zona de paso (m²)
21. Tratamientos enológicos (m²)

Las 7 primeras variables son de tipo cualitativo y sirven para definir la tipología de bodega y sus características principales. Las variables 8-21 son de tipo cuantitativo. Las variables 8 y 9 sirven para caracterizar cuantitativamente la bodega en cuanto a su producción, mientras que las variables 10-21 son variables cuantitativas relacionadas con las áreas funcionales y el diseño en planta de la bodega.

En cuanto a la variable 2 (actividad), existen varias actividades que pueden ser llevadas a cabo en una bodega: elaboración, crianza, embotellado, almacenamiento. Existen bodegas en las que se realizan varias de estas actividades, complementándose entre ellas, pero también hay bodegas en las que se realiza una única actividad. Cada bodega sólo puede realizar aquellas actividades para las que esté registrada. Cada una de estas actividades puede tener implicaciones en cuanto a necesidades y diseño de los espacios.

Existen bodegas en las que la variable 4 (diseño estético) tuvo una importancia tan relevante cuando se diseñó la bodega, que su peso fue superior a los criterios de funcionalidad del proceso y eficiencia desde el punto de vista de la ingeniería, condicionando totalmente el resultado final. Estas bodegas han sido identificadas y segregadas, para que sus datos no distorsionaran el conjunto de datos de la muestra.

El muestreo realizado fue de tipo dirigido no aleatorio, estratificado en dos niveles: localización y actividad de la bodega. En la Tabla 1 se presenta la muestra estudiada.

Las bodegas inscritas en la D.O.Ca. Rioja con registro embotellador son 587 (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014). Entre ellas hay 45 bodegas almacenistas, que no han sido consideradas en este estudio, ya que no presentan las zonas funcionales habituales y su actividad se centra en comercializar vinos de otras bodegas. Por tanto, el tamaño de la población total es 542. La muestra estudiada representó un 15,13% del total de bodegas de Rioja. En cuanto al número de barricas, las bodegas de la muestra sumaron 199.991 barricas, lo cual supone un porcentaje del 15,84% sobre el parque de barricas de Rioja, constituido por un total de 1.262.296 barricas (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014). En cuanto a producción, la capacidad de elaboración de las bodegas analizadas es de 1.905.554 hl, lo cual representa el 75,19% de la producción de vino D.O.Ca. Rioja, que fue de 2.534.413 hl en el año 2013 (Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014).

Tabla 1. Características de la muestra de bodegas estudiada

Actividad de la bodega	La Rioja	Álava	Navarra	Total
Criadores	35	23	2	60
Cooperativas	6	0	0	6
Cosecheros	11	5	0	16

Resultados y Discusión

De cada una de las 82 bodegas que han sido analizadas se ha obtenido un plano de distribución en planta y se ha generado una ficha con la información correspondiente a las 21 variables presentadas anteriormente. Por ejemplo, en la Figura 1 se presenta el plano y superficies de una de las bodegas analizadas.

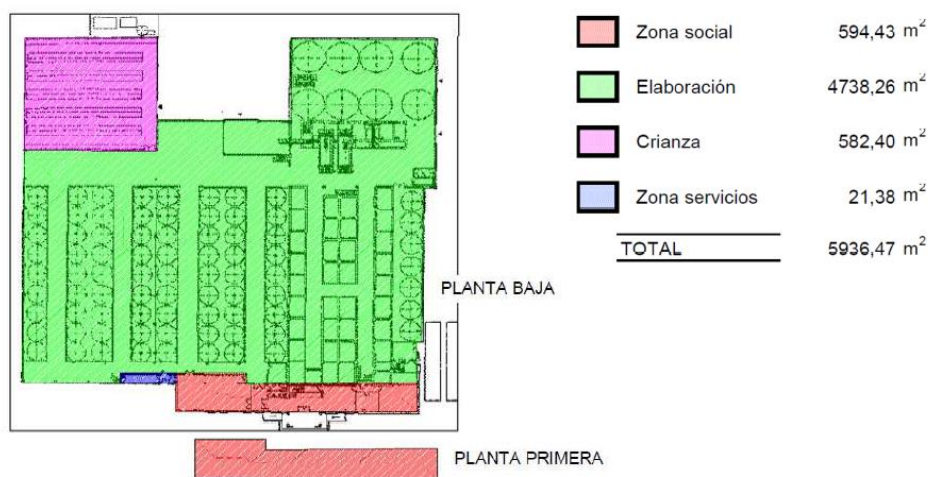


Figura 1. Distribución en planta y superficies de una de las bodegas analizadas

Teniendo en cuenta la variable 2 (actividad), conjuntamente con las variables 3 (superficie) y 4 (diseño estético), se han definido 5 tipologías o grupos de bodegas:

- Cooperativas (clase A): Generalmente elaboran para vender la mayor parte del vino a granel a otras bodegas y el porcentaje de la superficie destinada a crianza suele ser bastante pequeño, ya que potencian poco la marca propia y la actividad de crianza.

- Bodegas industriales (clase B): Poseen un diseño en planta racional, generalmente con elaboración, crianza y embotellado. Este grupo se ha subdividido en dos subclases. Por un lado, bodegas pequeñas o de tamaño medio con una superficie inferior a 2500 m² (clase B-1), teniendo en cuenta que la Normativa Urbanística Regional de La Rioja establece para las bodegas una superficie máxima construida en suelo no urbanizable de 2400 m², y dejando un margen para posibles errores en la digitalización y planimetría de los planos. Por otro lado, grandes bodegas industriales con una superficie mayor de 2500 m² (clase B-2), generalmente pertenecientes a empresas con varias bodegas o a otro tipo de grupos empresariales, pero que no suelen estar vinculadas a promotores individuales.
- Bodegas sin parámetros de diseño industrial (clase C): Son generalmente bodegas grandes con superficie mayor de 2500 m², pero no tienen un diseño racional basado en la funcionalidad del espacio. En unos casos ha primado el componente arquitectónico o estético, mientras que en otros casos se trata de bodegas con muchos años de actividad, incluso centenarias, donde se han producido sucesivas ampliaciones.
- Bodegas familiares (clase D): Son bodegas de pequeño tamaño, muy heterogéneas, y que no pueden incluirse en ninguna de las clases anteriores. Este grupo incluye las bodegas de cosechero situadas en barrios de bodegas, bodegas familiares de ciclo completo, bodegas adaptadas y bodegas garaje, cuyo diseño está condicionado por el edificio previamente existente en el que se aloja. Debido a su reducido tamaño, pueden encontrarse dentro de núcleos urbanos o en barrios de bodegas tradicionales. Las bodegas de cosechero son aquellas en las que los viticultores elaboran su cosecha propia, transformándola en vino, que generalmente comercializan una vez finalizada la fermentación (López, 1992).

Los valores obtenidos para cada una de las variables cuantitativas relacionadas con las áreas funcionales presentaron amplitudes importantes y todas ellas registraron un número importante de valores nulos. Es decir, no todas las áreas funcionales estaban presentes en todas las bodegas analizadas. Las áreas funcionales que se identificaron en un número más reducido de bodegas fueron: el almacenamiento de vino, que sólo estuvo presente en el 11% de las bodegas, los equipos industriales, en el 14,6%, y las zonas para tratamientos enológicos, únicamente en el 12,2%.

Para cada grupo de bodegas se han calculado los valores medios de superficie para cada una de las áreas funcionales. Para eliminar el efecto del tamaño de la bodega, ya que hay gran diversidad de tamaños incluso dentro de un mismo grupo de bodegas, también se han calculado porcentajes de superficie dedicada a cada área funcional con respecto a la superficie total de bodega. En la Tabla 2 se presentan algunos de estos porcentajes para los grupos de bodegas definidos anteriormente.

Los datos presentados en la Tabla 2 han servido para caracterizar los grupos de bodegas definidos, que han quedado claramente diferenciados según la superficie dedicada a cada área funcional. A partir de la abundante información recopilada en el presente estudio se podrá realizar un análisis multivariante, para detectar relaciones complejas entre las diversas variables que se han estudiado, y también generar plantas

tipo a partir de metodologías habituales para la optimización del diseño en planta, como el “systematic layout planning” (Muther, 1961).

Tabla 2. Porcentaje (%) entre la superficie media dedicada a cada área funcional con respecto a la superficie total media para cada grupo de bodegas

Área Funcional	Clase A	Clase B-1	Clase B-2	Clase C	Clase D
Zona social	16	16	14	11	19
Elaboración	59	35	38	20	32
Crianza barricas	11	25	31	22	13
Crianza botellas	8	3	5	13	0
Embotellado	3	6	3	9	14
Zona servicios	1	2	1	1	3
Almacén	1	6	6	10	14
Almacenamiento de vino	0	1	1	7	0
Equipos industriales	0	1	0	1	0
Zona de paso	1	4	1	2	6
Tratamientos enológicos	0	2	0	4	0

Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado un muestreo de 82 bodegas acogidas a la D.O.Ca. Rioja, obteniendo para cada una de ellas un plano de distribución en planta y una ficha con información cualitativa y cuantitativa.

Las bodegas han sido clasificadas en cinco grupos o clases: cooperativas, bodegas industriales de menos de 2500 m², bodegas industriales de más de 2500 m², bodegas sin parámetros de diseño industrial, y bodegas familiares.

La información obtenida sobre la superficie destinada a cada una de las áreas funcionales de las bodegas será de gran utilidad para extraer factores y criterios de diseño con el fin último de optimizar el diseño de bodegas.

Bibliografía

- Catalano, P., 1999. Effluents from wine processing. En CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume IV: Agro-Processing Engineering, pp. 483–497. ASAE, St. Joseph, USA.
- Consejo Regulador de la D.O.Ca. Rioja, 2014. Memoria 2013. Logroño, España.
- Gómez, J., 2009. Análisis metodológico del diseño de bodegas de Rioja. Tesis doctoral, Dpto. Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja.
- Jacquet, P., 1999. Installations vinicoles et d'embouteillage, Tome 1, Conception et réglementation. Ed. Feret, Bordeaux, Francia.
- López, M., 1992. Evolución de la tecnología y la construcción en las bodegas de La Rioja. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Muther, R., 1961. Systematic Layout Planning. Industrial Education Institute, Boston, USA.
- Storm, D.R., 1997. Winery utilities: planning, design and operation. Ed. Chapman and Hall, New York, USA.
- Torreggiani, D., Benni, S., Corzani, V., Tassinari, P., Galassi, S., 2011. A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical Italian wine productions. Land Use Policy 28, 11–18.

Torreggiani, D., Benni, S., Garcia, A.I., Ayuga, F., Tassinari, P., 2014. Farm winery layout design: size analysis of base spatial units in an Italian study area. Transactions of the ASABE 57, 625–633.

C14 - Análisis de las propiedades de tableros de partículas de palmera (*Washingtonia robusta* H. Wendl) y de caña común (*Arundo donax*, L.)

Ferrández-Villena, M.¹, Ferrández-García, C.E.², Andréu-Rodríguez, J.¹, García-Ortuño, T.¹, Ferrández-García, M.T.¹

¹ Universidad Miguel Hernández, Departamento de Ingeniería, Ctra. Orihuela-Beniel, km 3,2, 03312 Orihuela (Alicante). m.ferrandez@umh.es; j.andreu@umh.es; tgarcia@umh.es; mt.ferrandez@umh.es, ² Universidad Miguel Hernández, Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Ctra. Orihuela-Beniel, km 3,2, 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es;

Resumen

El presente trabajo tiene por objeto el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros formados por partículas del raquis de la hoja de palmera (*Washingtonia robusta*, H.W.) y por partículas del tallo de la caña común (*Arundo donax*, L.). Se analizó el comportamiento de los tableros de partículas obtenidos tanto con cada una de estas materias primas por separado, como de los obtenidos con una mezcla al 50% de tales materias primas. En la obtención de los tableros analizados se siguió el proceso industrial común de elaboración de tableros de partículas de madera. Una vez fabricados, se prepararon las probetas de ensayo necesarias para la caracterización de las propiedades mecánicas y físicas de cada uno de los tres tipos de tableros sometidos a estudio. En concreto, y para cada uno de tales tipos, se determinaron los valores de MOR, MOE e IB, siguiendo las indicaciones recogidas en las normas españolas y europeas aplicables a tableros de partículas de madera.

Tras analizar los valores resultantes de los diferentes ensayos se pueden extraer las siguientes conclusiones: Los tableros formados por partículas de palmera alcanzaron valores de MOR aceptables, valores de IB muy buenos y valores de MOE muy bajos. Los tableros formados por partículas de caña común ofrecieron valores muy buenos de IB, valores de MOE aceptables y valores de MOR muy bajos. Los tableros con una mezcla al 50% de ambos tipos de partículas estudiados, ofrecieron unos resultados insuficientemente satisfactorios en este sentido por ser muy similares a los obtenidos con los tableros formados únicamente por partículas de raquis de palma de palmera.

Palabras clave: Residuos agrícolas, caracterización mecánica, valorización, tablero aglomerado.

Analysis of the properties of particleboard Palm (*Washingtonia robusta*) and Giant Reed (*Arundo donax* L.)

Abstract

This paper aims to study the mechanical properties of the boards formed by particles rachis palm leaf (*Washingtonia robusta*, H.W.) and stem particles giant reed (*Arundo donax* L.). The behavior of particle board obtained both with each of these raw materials separately as those obtained with a mixture of 50% of such raw materials will be analyzed. In obtaining the boards analyzed in this paper the common industrial process of making wood particle board continued. Once manufactured, the test specimens required for the characterization of the mechanical and physical characteristics of each of the three types of boards properties under study were prepared. Specifically, for each of these types, the values of MOR, MOE and IB were determined by following the instructions provided in the European and Spanish standard applicable to wood particle boards.

After analyzing the resulting values of the different assays, the following conclusions can be drawn: The boards formed by particles of palm reached acceptable values of MOR, very good IB and very low values of MOE. The particle boards designed *Arundo donax* L. offered very good values of IB, acceptable values of MOE and very low values of MOR. Boards with a 50% mixture of both types of particles were studied in an attempt to find a deficient compensation values offered by each of them separately in terms of MOE (palm) and MOR (giant reed). They offered some satisfactory results in this regard, being very similar to those obtained with boards consisting only of palm rachis particles.

Keywords: Agricultural waste, mechanical characterization, recovery, chipboard.

Introducción

Actualmente a escala europea, la industria de la madera se ve afectada por el aumento del consumo de su materia prima con fines energéticos. Los mecanismos de ayuda financiera para la electricidad «verde» propician un uso desequilibrado de madera en la producción de energía eléctrica y los precios de los residuos de madera aumentaron una media de un 20% (Janssen, 2004 y Marutzky, 2004) y siguen aumentando. La Confederación Europea de la Industria de la Madera (Dielen L. *et al.*, 2000), puso en conocimiento de la Comisión Europea la competencia que había por los residuos de madera, lo que suscitó que se promovieran planes estratégicos de investigación sobre cultivos agroenergéticos como sustitutos de la madera.

Los residuos vegetales pueden ser una buena alternativa a la madera. La utilización de productos compuestos a partir de materiales de desecho agrícolas tiene un futuro prometedor, proporcionando beneficios medioambientales. Hay investigaciones alentadoras de producción de tableros de partículas utilizando caña común (Ferrández García *et al.*, 2012; Andreu-Rodríguez *et al.*, 2013) y raquis de palmera washingtonia (García-Ortuño *et al.*, 2013). Por otra parte, estos recursos lignocelulósicos no se producen en grandes cantidades para una producción continua de tableros aglomerados, tienen distinta composición química y propiedades mecánicas

El presente trabajo tiene por objeto el estudio de las propiedades mecánicas de los tableros formados por partículas del raquis de la palma de palmera (*Washingtonia robusta*, H.W.) y por partículas del tallo de caña común (*Arundo donax*, L.). Se estudió el comportamiento de los tableros de partículas obtenidos tanto con cada una de estas materias primas por separado, como de los obtenidos con una mezcla al 50% de tales materias primas y se analizó la compatibilidad entre estos materiales.

Material y Métodos

Los materiales utilizados fueron caña común y raquis de hoja de palmera washingtonia. Se trituraron y tamizaron hasta obtener partículas de tamaño 0.25 a 2 mm. En la elaboración de los tableros se siguió el proceso industrial de elaboración de tableros de partículas de madera. Las partículas se amasaron con un 10% de urea formaldehído (UF) en una encoladora horizontal (IMAL). Se elaboraron 20 tableros de 4 tipos diferentes en la prensa de platos calientes con una temperatura de 140°C, una presión de 2.6 MPa y tiempo de prensado de 6 min. Los tableros tenían unas dimensiones aproximadas de 600x400x12 mm. La composición de los tipos de tableros fabricados se muestra en la tabla 1. Los tableros tipo 1, 2 y 3 son tableros monocapa. Los tableros tipo 4 son tricapa, con las partículas de palmera en el interior y las partículas de caña en las caras exteriores.

Tabla 1. Composición de los tableros

Tipo	% Caña	% Raquis palmera	Capas
1	0	100	1
2	100	0	1
3	50	50	1
4	50	50	3

Las propiedades se determinaron siguiendo la normativa específica para tableros de partículas de madera. Las propiedades evaluadas fueron densidad, según la norma UNE-EN 323, (1994); hinchamiento en espesor y absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión en agua, según la norma UNE-EN 317, (1994); resistencia a flexión (módulo de ruptura y módulo de elasticidad) según la norma UNE-EN 310, (1994); y la cohesión interna o resistencia a tracción, según la norma UNE-EN 319, (1994). Para su clasificación se siguió la norma UNE-EN 312 (2010)

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0. Se obtuvo la desviación estándar de las medias de los valores de cada parámetro y el análisis de la varianza (ANOVA) de los valores medios obtenidos en cada panel, para ver si las diferencias eran significativas. Para comparar las diferencias entre los tipos de tableros se utilizó el test de Duncan ($P < 0.05$).

Resultados y Discusión

Los resultados de los valores medios de las propiedades físicas se muestran en la tabla 2. Los tableros obtenidos tenían un espesor de entre 12.1 y 12.4 mm y se consideran de densidad media. La densidad fue mayor en los tableros de partículas de palmera (799 kg/cm^3) y menor en los tableros tricapa (694 kg/m^3). El porcentaje de hinchamiento en espesor a las 24 h (TS) fue mayor en los tableros de palmera (42.5%) y menor en los de caña (13.5%). Los tableros de mezcla de caña y palmera tuvieron un TS menor que la media de los dos materiales por separado (21.5%). Los tableros de tricapa absorbieron la misma cantidad de agua (WA) que los de palmera, en cambio los tableros de mezcla (tipo 3) absorbieron menor cantidad de agua. En general los tableros tipo 3 tienen mejores propiedades físicas que los tableros de palmera.

Tabla 2. Propiedades físicas

Tipo	Densidad (kg/cm^3)	TS 2h	TS 24h	WA 2h	WA 24h
1	799.07 ^c (12.80)	33.99 ^c (3.63)	42.48 ^c (3.48)	67.84 ^c (1.73)	83.47 ^c (4.32)
2	747.34 ^b (18.70)	10.99 ^a (0.15)	13.47 ^a (0.17)	40.96 ^a (1.90)	53.65 ^a (2.36)
3	749.78 ^b (31.42)	16.41 ^b (0.21)	20.71 ^b (0.97)	63.27 ^b (0.88)	65.34 ^b (0.55)
4	694.07 ^a (21.14)	18.53 ^b (0.85)	22.89 ^b (0.92)	70.95 ^c (3.10)	84.78 ^c (3.60)

() Desviación estándar; ^{a, b, c} Duncan ($P < 0.05$); TS: % hinchamiento en espesor tras 2 y 24 horas de inmersión en agua; WA: % absorción de agua tras 2 y 24 horas de inmersión.

En la figura 1 se observa que, en general, la adición de partículas de caña en los tableros de palmera mejora las propiedades físicas TS y WA.

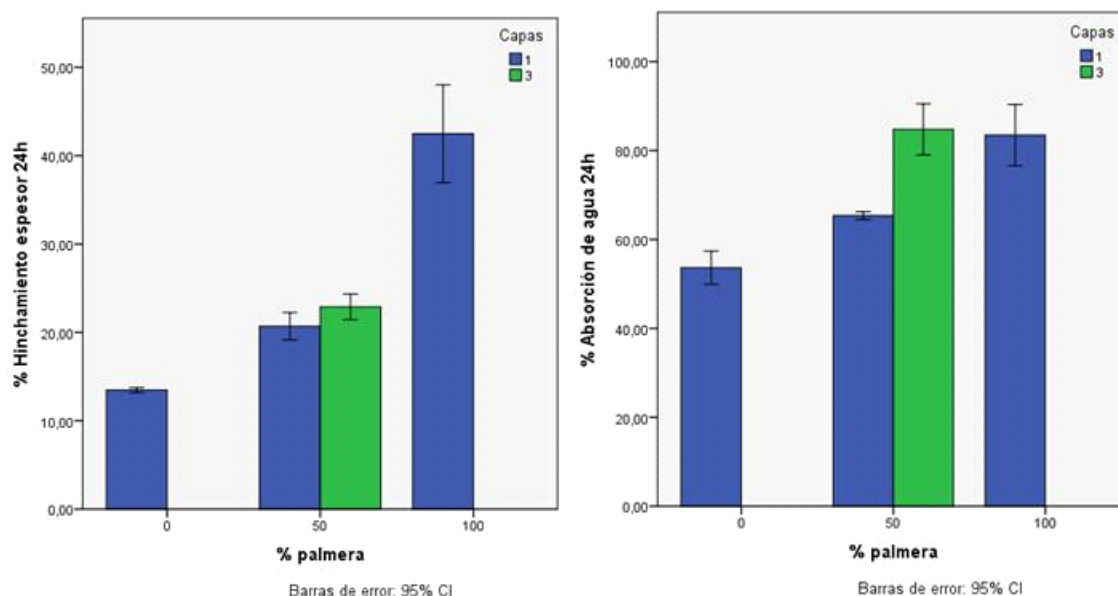


Figura 1. Hinchamiento en espesor (TS) y absorción de agua (AW) en función del porcentaje de partículas de raquis de palmera.

Los resultados de los ensayos mecánicos son los que figuran en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas.

Tipos	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)
1	13.76 ^c (0.27)	1178.23 ^c (56.50)	0.84 ^d (0.02)
2	9.55 ^a (0.44)	1818.48 ^d (6.61)	0.90 ^c (0.05)
3	14.36 ^c (0.50)	1073.45 ^b (32.10)	0.63 ^b (0.02)
4	11.06 ^b (0.47)	674.03 ^a (29.73)	0.36 ^a (0.02)

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidad; IB: Cohesión interna.

Valores entre paréntesis: Desviación estándar; ^{a, b, c} Duncan ($P < 0.05$).

Los valores de MOR de los tableros tipo 1 y tipo 3 son similares (≈ 14 N/mm²). La adición de partículas de caña a los tableros de palmera no ha afectado este valor, en cambio los resultados de MOE e IB sí se ven afectados por la incorporación de estas partículas, disminuyendo respecto a los tableros de palmera y los de caña por separado (tipos 1 y 2). No obstante el valor de IB sigue siendo elevado.

En la figura 2 se observa que en general la adición de partículas de caña no ha influido en los valores de MOR y MOE en los tableros tipo 3, sin embargo en la configuración tricapa (tableros tipo 4) sí han disminuido.

En la figura 3 se observa como los tableros en general tienen altos valores de cohesión interna (IB), aunque con la mezcla de partículas disminuye, especialmente en los tableros tricapa.

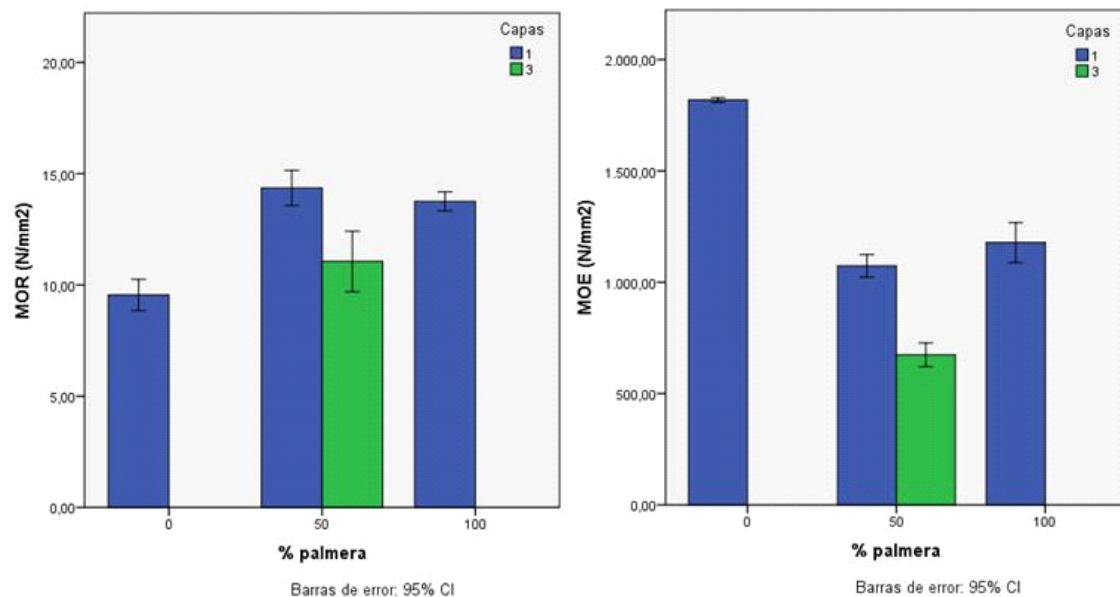


Figura 2. Valor medio módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) en función del porcentaje de partículas de palmera

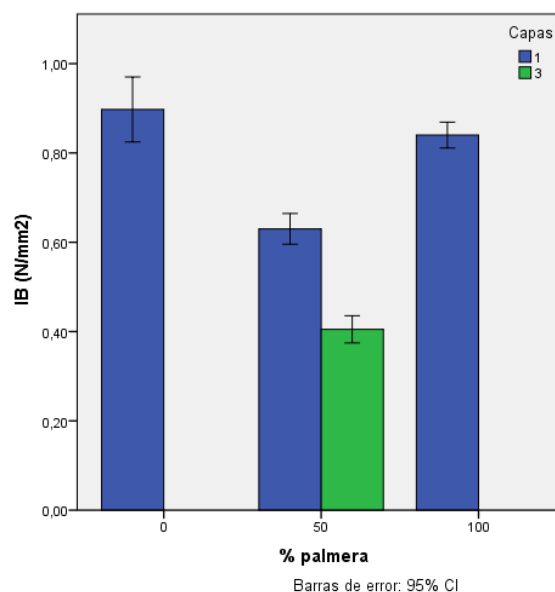


Figura 3. Valor medio cohesión interna (IB) en función del porcentaje de palmera.

Para poder clasificar los tableros hay que considerar los valores de las propiedades tanto físicas (hinchamiento en espesor) como mecánicas (MOR, MOE, IB) en conjunto. Según la norma española y europea de los tableros de partículas UNE-EN 312 (2010) se requieren valores mínimos de módulo de ruptura (MOR) de 12.5 N/mm² para ser considerados tableros de uso general en ambientes secos (tipo P1). El requerimiento para montajes de interior (tipo P2) (incluyendo fabricación de mobiliario) es un valor mínimo de 13.0 N/mm². No hay un requerimiento mínimo de MOE para clasificar los

tableros como aptos para usos generales (P1) y para el tipo P2 el valor de MOE mínimo es de 1800 N/mm². En cuanto al valor de IB, para el tipo P1 el requisito es de 0.28 N/mm² y el de P2 es de 0.40 N/mm². En estas dos clasificaciones no se tiene en cuenta el TS.

Los tableros obtenidos con partículas del raquis de la palmera y los de mezcla caña palmera configuración monocapa, se pueden clasificar como Tipo P1 tableros de uso general en ambiente seco.

Conclusiones

Los tableros formados por partículas de palmera alcanzaron valores de MOR aceptables, valores de IB muy buenos y valores de MOE muy bajos. Los tableros formados por partículas de caña común tuvieron valores muy buenos de IB, valores de MOE aceptables y valores de MOR bajos.

Los tableros con una mezcla al 50% de ambos tipos de partículas, estudiados con la intención de encontrar una compensación en los deficientes valores ofrecidos por cada uno de ellos por separado, en cuanto a MOE (palmera) y a MOR (caña común), ofrecieron unos resultados insuficientemente satisfactorios en este sentido por ser muy similares a los obtenidos con los tableros formados únicamente por partículas de raquis de palma de palmera washingtonia. Esto indica que ambos materiales no parecen ser compatibles.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del MINECO a través del Programa Retos, proyecto AGL2013-41612-R.

Bibliografía

- Andréu-Rodríguez, J., Medina, E., Ferrández-García, M.T., Ferrández-Villena, M., Ferrández-García, C.E., Paredes, C., Bustamante M.A., Moreno-Caselles, J. 2013. Agricultural and industrial valorization of *Arundo donax* L. Commun Soil Sci Plan. 44 (1-4), 598-609.
- Dielen, L., Guegan, S., Lacour, P.A., Mäki, P., Stolp, J., Rytkong, A. 2000. EU Energy Policy impacts On the Forest-Based Industry. Part I: Modelling analysis of the influence of the White Paper on renewable energy sources on the wood supply to the European forest based industry. Feb 2000.
- Ferrández-García, C.E., Andreu-Rodríguez, J., Ferrández-García, M.T., Ferrández-Villena, M., Garcia-Ortuño, T. 2012. Panels made from giant reed bonded with non-modified starches. BioRes. 7 (4), 5904-5916.
- García-Ortuño, T., Andreu-Rodríguez, J., Ferrández-García, M.T., Ferrández-García, C.E., Perez-Murcia, M.D., Moreno-Caselles, J. 2013. Evaluation of the different uses of washingtonia robusta pruning waste. Commun Soil Sci Plan. 44(1-4), 623-631.
- Janssens, E., ENS, E. EPF, presentación en la reunión de GESBOIS, 17 de febrero de 2004, EPF, Bruselas.
- Marutzky, R., WKI Braunschweig, presentación en la reunión de GESBOIS, 17 de febrero de 2004, EPF, Bruselas.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
- UNE-EN 312. 2010. Tableros de partículas. Especificaciones. Madrid. España.

- UNE-EN 317. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. Madrid. España.
- UNE-EN 319. 1994. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid. España.
- UNE-EN 323.1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.

C15 - Estudio de una aplicación agroindustrial de paneles de residuos de morera (*Morus alba* L.)

Ferrández-Villena, M.¹, Ferrández-García, C.E.², Andréu-Rodríguez, J.¹, García-Ortuño, T.¹, Ferrández-García, M.T.¹

¹ Universidad Miguel Hernández, Departamento de Ingeniería, Ctra. Orihuela-Beniel, km 3,2, 03312 Orihuela (Alicante). m.ferrandez@umh.es; j.andreu@umh.es; tgarcia@umh.es; mt.ferrandez@umh.es, ² Universidad Miguel Hernández, Departamento de Agroquímica y Medioambiente, Ctra. Orihuela-Beniel, km 3,2, 03312, Orihuela (Alicante), cferrandez@umh.es;

Resumen

Las moreras (*Morus alba* L.), se cultivan en España actualmente como árboles ornamentales y de sombra en el paisajismo urbano. Estos árboles se podan una vez al año como mínimo. Estas podas producen una madera blanda de uno o dos años que se eliminan en vertedero. Experiencias anteriores han demostrado que con los residuos de poda de morera se pueden fabricar tableros de partículas con buenas propiedades mecánicas. Las investigaciones actuales se dirigen a sustituir la madera por residuos vegetales debido a la escasez de maderas y evitar las quemaduras en campo y la contaminación ambiental. El objetivo de este estudio fue fabricar contenedores tipo "pitufos" de frutas y verduras usando tableros de pequeño espesor de morera y evaluar su comportamiento. Primero se fabricaron los tableros de partículas de morera y se determinaron sus propiedades mecánicas, obteniéndose unos valores que los hacían válidos para la fabricación de cajas. Posteriormente se fabricaron las cajas tamaño "pitufos" y se llevaron a cabo los ensayos de compresión, flexión estática y compresión dinámica según la normativa aplicable. Se concluye que las podas de morera se pueden utilizar para fabricar envases de frutas y verduras.

Palabras clave: Tableros de partículas, contenedores, caracterización mecánica, valorización.

Study of an agro-industrial application of residues of Mulberry (*Morus alba* L.)

Abstract

The mulberry trees (*Morus alba* L.) are grown in Spain currently as ornamental trees and to provide shade in urban landscaping. The mulberry trees are pruned once a year as a minimum. These pruning produces a soft wood of one or two years which is disposed of in landfills. Previous experiences have shown that Mulberry pruning residues can be used to manufacture particleboards with good properties. Current investigations are directed to replace the wood with vegetable waste due to the scarcity of wood and prevent the burning of such waste and environmental pollution. The objective of this study was to manufacture containers for fruit and vegetables using boards of small thickness of Mulberry and to evaluate their behavior. First, Mulberry particle boards were manufactured and their mechanical properties determined, resulting in values that made them valid for the manufacture of packages. Afterwards, containers were manufactured and tests of compression, bending static and dynamic compression according to the applicable regulations were carried out. It can be concluded that the prunings of Mulberry can be used to manufacture containers of fruits, vegetables.

Keywords: Particleboards, containers, mechanical characterization, valorization.

Introducción

Las moreras (*Morus alba* L.) se cultivaron ampliamente en la zona de Levante para alimentación de los gusanos de la seda. Actualmente se cultivan en España, como árboles ornamentales y de sombra en el paisajismo urbano. Las moreras se podan una vez al año como mínimo. Estas podas producen una madera blanda de uno o dos años que se eliminan en vertedero. La tendencia actual es mejorar la utilización sostenible de los recursos, por lo que se pretende aprovechar los residuos y obtener nuevos productos.

El embalaje de frutas y verduras frescas es uno de los pasos más importantes en el desplazamiento entre el productor y el consumidor final. Parte de las pérdidas de los productos frescos se deben a lesiones mecánicas por la mala manipulación y embalaje inadecuado. El empaquetado apropiado de un producto puede reducir la contusión y aplastamiento, también puede mejorar la comercialización del producto, reducir la pérdida de humedad, evitar la contaminación y el deterioro, reducir los hurtos, y mantener un ambiente sanitario durante la comercialización (Schuur, 1988). Para la comercialización de frutas frescas se utilizan envases tipo “pitufo” que se fabrican con madera contrachapada. Sustituir la madera por residuos vegetales debido a la escasez de ésta y evitar las quemaduras en campo supondría un beneficio ambiental.

Experiencias anteriores han demostrado que con los residuos de poda de morera se obtienen tableros de partículas con buenas propiedades. García-Ortuño *et al.*, 2013, realizaron un estudio de contenedores fabricados con caña común (*Arundo donax* L.), llegando a la conclusión de que tenían un comportamiento similar a los envases de madera.

El objetivo de esta investigación fue utilizar tableros de partículas a partir podas de morera en la fabricación de envases de frutas, como sustitutos de los tableros de madera contrachapada y evaluar la aplicación industrial de este tipo de tableros.

Material y Métodos

La materia prima utilizada fueron las ramas de poda de las moreras de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. El contenido de humedad inicial fue del 87 %. Las ramas se secaron al exterior durante 12 meses, hasta un contenido de humedad del 7.8 %. Las ramas se desfibraron en una desfibradora de cuchillas y posteriormente las partículas se clasificaron, utilizando una tamizadora vibradora horizontal.

Como aglomerante de los tableros se utilizó un 8% de urea formaldehído. Se fabricaron 14 tableros mediante un proceso en seco mediante la adición de resinas estandarizado, simulando el proceso industrial, con una presión de 2.6 MPa, temperatura de 120°C y tiempo 6 min. No se utilizaron ceras, ni sustancias hidrófobas. Los tableros eran de una sola capa y de un tamaño aproximado de 600x400x3 mm.

Para medir las propiedades mecánicas de los tableros de partículas de morera se obtuvieron 15 probetas y se evaluó el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), según la norma UNE EN 310 (1994), y la densidad, según la norma UNE-EN 323 (1994). Con el resto de tableros fabricados, se elaboraron 18 envases “tipo pitufo” con dimensiones 300 mm x 200 mm x 112 mm, (como se observa en la figura 1). En este estudio las paredes y el fondo del envase se hicieron con los tableros de partículas y las piezas de esquina con tacos triangulares de madera de pino (ver figura 1). Para unir las paredes y el fondo se utilizaron grapas.

Con el fin de evaluar la capacidad de los envases para resistir las fuerzas de compresión y las pruebas de apilamiento, simulando el transporte, se llevaron a cabo los tests, siguiendo las normas españolas y europeas (UNE EN ISO 12048, 2001 y UNE EN ISO 2234, 2003).

El ensayo a flexión estática del fondo de los envases, consiste en colocar en el interior de la caja una carga (S) que viene dada por la fórmula (1). Posteriormente se mide el desplazamiento del fondo en el centro.

$$S = \left(\frac{P}{2}\right) + P \quad (1)$$

Siendo P el peso del envase lleno.

La prueba de flexión estática del fondo se realizó en seis envases (6 repeticiones) y se llevó a cabo en el laboratorio de ensayos. La prueba consistió en someter a cada envase a una sobrecarga determinada (S) y medir la deformación después de 10 min.

El ensayo de apilamiento consiste en evaluar el comportamiento resistente del envase durante el almacenamiento. Se colocaron 2 envases superpuestos sobre una superficie horizontal y se sometió a una fuerza de compresión con la máquina universal de ensayos en el laboratorio. Para medir la resistencia al apilamiento se utilizaron 6 envases, se apilaron de dos en dos y se realizaron 3 repeticiones. Se utilizó el método 3 de la norma y la carga aplicada (C) se calculó con la fórmula (2).

$$C = M \cdot (H - 1) \cdot 1,5 \quad (2)$$

Donde M es el peso de los envases apilados, H es el número de envases apilados, y 1,5 es un factor de seguridad.

El ensayo a compresión mide la deformación máxima de compresión que un contenedor puede resistir. Este ensayo se realizó en seis envases (6 repeticiones). El ensayo a compresión dinámica se llevó a cabo a una velocidad de 10 mm / min \pm 3 mm / min.

Para este tipo de envase según las normas es necesaria una resistencia de ≥ 3500 kg.



Figura 1. Envase fabricado con tableros de morera.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v. 21.0. Se obtuvo la desviación estándar de las medias de los valores de cada parámetro y el análisis de la varianza (ANOVA) de los valores medios obtenidos en cada panel, para ver si las diferencias eran significativas.

Resultados y Discusión

Los resultados de los ensayos mecánicos de los tableros fabricados con partículas de morera se muestran en la tabla 1. Así mismo, se ensayaron tableros contrachapados procedentes de cajas comerciales como control. Sus propiedades mecánicas se incluyen también en la tabla 1.

Los tableros aglomerados de morera tienen casi el doble de densidad que los tableros industriales. Los valores de MOR y MOE son menores en los tableros de morera que en los tableros contrachapados comerciales. La alta densidad y menores propiedades mecánicas hacen que sean tableros de peor calidad que los tableros industriales utilizados para fabricar envases.

Tabla 1. Propiedades de los tableros de los envases y tablero industrial.

Tipo tablero	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
Aglomerado morera	3.20 (0.57)	853.86 (33.92)	20.51 (2.62)	1906.70 (327.46)
Contrachapado industrial	2.95 (0.03)	457.57 (7.20)	63.04 (12.40)	6853.04 (1924.04)

MOR: Módulo de Ruptura en flexión; MOE: Módulo de Elasticidad. Valores entre paréntesis: desviaciones estándar.

El peso medio de los envases de morera fue 0.418 kg, un 32.7% superior al peso de los envases de contrachapados industriales que se utilizan en el mercado, que pesan alrededor de 0.315 kg.

La primera prueba realizada a los contenedores fue el ensayo a flexión estática del fondo de los envases. A esta prueba se sometieron 6 envases. Suponiendo un contenido en el envase de 2.5 kg, el peso del envase lleno (P) es $(2.5 + 0.418) = 2.918$ kg. El sobrepeso calculado del ensayo según la fórmula (1) fue $S = 4.377$ kg.

En el interior del recipiente se colocaron bolas de plástico llenas de agua de 200 g hasta completar un sobrepeso de 4.40 kg. Se llevaron a cabo 6 repeticiones de la prueba, obteniendo los resultados medios que se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Valores prueba de flexión fondo interior.

Envase n°	Deflexión (mm)
1	1.71
2	2.31
3	2.14
4	1.77
5	2.10
6	2.29
Media	2.05 (0.25)

Valor entre paréntesis: desviación estándar.

La deflexión del fondo permitida en envase pitufo debe ser ≤ 2 mm, luego los envases realizados con tableros aglomerados de morera con una deflexión del fondo del envase de 2.05 indicaría que los envases están al límite para ser válidos. No obstante, la prueba se realizó con una sobrecarga de 4.40 kg en lugar de 4.377 kg, mayor que la calculada.

Para la prueba de apilamiento se utilizaron seis envases. Se apilaron dos envases uno encima del otro, y se aplica una fuerza “C” estática calculada con la fórmula (2). $C = (0.418 \times 2) \cdot (2-1) \cdot 1.5 = 1.254 \text{ N}$.

Se aplicó una carga “C” de 1260 N y los resultados de la prueba de apilamiento se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados, prueba de apilamiento.

Envase nº	“C” Fuerza (N)	Deflexión (mm)	% altura
7-8	1260	3.80	1.69
9-10	1260	3.20	1.43
11-12	1260	2.45	1.09
Media	1260	3.15 (0.65)	1.40 (0.30)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

La deformación máxima permitida es el 5% de la altura total del envase. En el ensayo se obtuvo una media de 1.40% lo que indica que los envases cumplen el requisito de esfuerzo de apilamiento.

Los ensayos a compresión dinámica se realizaron sobre 6 envases y se aplicó una fuerza dinámica hasta que rompieron los envases. Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados, prueba de compresión dinámica

Envase nº	Fuerza dinámica (N)	Deflexión (mm)
13	20500	4.36
14	19500	5.18
15	20500	6.32
16	20500	4.56
17	17000	5.68
18	19000	4.22
Media	19500 (1378)	5.05 (0.83)

Valores entre paréntesis: desviación estándar.

La resistencia media necesaria para ser válido un envase debe ser $\geq 3500 \text{ kg} \approx 34300 \text{ N}$. El valor medio obtenido fue de 19500 N, por lo que no cumplen las condiciones de compresión dinámica.

En esta prueba los envases no se rompieron, sino que la máquina de ensayos paraba el test, debido a que las grapas que unen los tableros se salieron de los tacos de esquina y los envases se abrieron. Esto indica que la unión mediante grapas no es la adecuada para este tipo de tableros.

Conclusiones

Los envases fabricados con tableros aglomerados de morera eran demasiado pesados, el peso medio fue de 0.418 kg, en comparación con los existentes en el mercado, que pesan alrededor de 0.315 kg. La densidad y el espesor medio fueron superiores a los tableros contrachapados usados en los envases, por lo que habría que reducirlos.

Los envases cumplieron las condiciones de deformación de fondo y apilamiento exigibles, pero no cumplieron a compresión dinámica debido al fallo del agarre de las grapas.

Los tableros de podas de morera podrían ser un buen material, sustituto de la madera, ajustando los espesores, densidad y tipo de agarre del envase, para fabricar envases.

Bibliografía

- García-Ortuño, T., Carbonell-Barrachina, A.A., Andréu-Rodríguez, J., Ferrández-García, M.T., Calín-Sánchez, A., Ferrández-Villena, M., Ferrández-García, C.E. 2013. Turning waste into a resource: Study of the effect of containers made of giant reed weeds on the shelf life and quality of tomatoes and strawberries. *Cien Inv Agr.* 40(1), 149-159.
- Schuur, C.C.M. 1988. Packaging for fruits, vegetables and root crops. FAO. Project PFL/RLA/001/PFL, FAO. Representative Office in Barbados, FAD/UN. 58 pp.
- UNE-EN 310. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
- UNE-EN 323. 1994. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.
- UNE-EN ISO 12048. 2001. Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos. Ensayos de compresión y apilamiento utilizando una máquina de ensayo de compresión. (ISO 12048:1994)
- UNE-EN ISO 2234. 2003. Envases y embalajes. Embalajes de expedición completos y llenos y unidades de carga. Ensayos de apilamiento utilizando una carga estática. (ISO 2234:2000).

C16 - Aplicación de una metodología de inspección de obras de paso en una red de caminos rurales de Extremadura

Rodríguez, A.¹; Moya, M.¹, Villar, J.R.¹, Ayuga, F.²

¹ Grupo de Investigación GIF, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Plasencia, Avda. Virgen del Puerto nº 2, 10600 Plasencia (Cáceres), rodriguezbuena.a@gmail.com, manuelmi@unex.es, jrvillar@unex.es. ² Grupo de Investigación EPIRMA, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Agrónomos, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, francisco.ayuga@upm.es

Resumen

Los caminos rurales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de estas áreas, conectando aldeas dispersas, mejorando el flujo de bienes y servicios y contribuyendo a promover el desarrollo económico y social. Sin embargo, la Administración Pública dispone de pocos recursos para el correcto mantenimiento de estas infraestructuras y normalmente las redes de caminos rurales se encuentran en malas condiciones.

Extremadura cuenta con más de 70000 kilómetros de caminos rurales. Sin embargo, una red de caminos de este tamaño requiere un adecuado sistema de gestión para garantizar su adecuada conservación. De los elementos integrantes de un camino rural, las obras de paso juegan un papel esencial. Por ello, deben mantenerse en buen estado para que el camino cumpla la función para la que fue diseñado, especialmente en época de lluvias. Sin embargo, estas estructuras están olvidadas en los planes básicos de mantenimiento de las administraciones.

El trabajo que se está desarrollando en estos momentos consiste en aplicar la metodología desarrollada por los autores para determinar el estado de conservación en el que se encuentran estos elementos en una muestra representativa de la red de caminos rurales de Extremadura. Por ello, de manera preliminar, en este trabajo se muestran los resultados obtenidos tras la inspección de una muestra de 46 obras de paso existentes en tres caminos rurales en el municipio de Madrigal de la Vera (Cáceres). Los valores del Índice de Conservación de la Obra de Paso (CCI) determinaron el buen estado que, en general, se detecta en las obras de paso inspeccionadas. Además, se proponen algunas recomendaciones técnicas que convendría tener en cuenta en el futuro de cara a alargar la vida útil de estas estructuras y optimizar así los recursos necesarios para su conservación.

Palabras clave: Conservación, Socavación, Riesgo de Erosión, inventario, deterioro

Application of an inspection methodology for culverts in a low-volume road network of Extremadura (Spain)

Abstract

Low-volume roads play a fundamental role in the development of these areas, connecting scattered villages, improving the flow of goods and services and helping to promote economic and social development. However, Public Administration has few resources for the proper upkeep of these infrastructures and usually low-volume roads network are in poor condition.

Extremadura has more than 70,000 kilometers of low-volume roads. However, a low-volume road network of this size requires a suitable management system to ensure its proper condition. From the different elements a rural road is compounded by, culverts play an essential role. Therefore, they must be in good condition in order to get that a low-volume road can correctly play the function it was constructed for, especially during rainy seasons. However these structures are forgotten in basic maintenance plans by public administrations.

The work that it is being undertaken nowadays consists of applying the methodology developed by authors in order to determining the condition of such elements in a significant sample of the low-volume road network of Extremadura. Therefore, as a preliminary way, in this work the results obtained when inspecting a sample of 46 culverts existing in three rural roads of Madrigal de la Vera (Cáceres) are shown. The values obtained for the Culvert Condition Index (CCI) determined, as a general role, a good condition for the culverts inspected. In addition, some technical recommendations are proposed in order to be taken into account in the future for extending the useful life of these structures, thus optimizing the resources needed for their maintenance.

Keywords: Maintenance, scour, risk or erosion, inventory, distress

Introducción

Las vías rurales han sido desde tiempos ancestrales una de las principales herramientas vertebradoras entre los diferentes núcleos de población diseminada en el entorno rural, favoreciendo el desarrollo económico, social y cultural de estas poblaciones.

Actualmente el tráfico rodado por este tipo de vías se ha intensificado (uso lúdico y deportivo, atajos para alcanzar cierto destino, etc.), y la tipología de los vehículos que circulan se ha diversificado enormemente. Sin embargo, los primeros caminos se diseñaban y proyectaban para dar servicio a la propia actividad agrícola sin tener en cuenta los futuros hábitos sociales y culturales de la población.

Además hay que tener en cuenta que estas vías discurren en la mayoría de los casos por ambientes agresivos, soportando grandes cargas debido a la circulación de maquinaria agrícola, limitaciones geométricas mucho más restrictivas que en otros tipos de infraestructuras viarias y resolviéndose con inversiones significativamente menores que estas últimas. Por lo tanto, es esencial que los caminos garanticen su tránsito en las debidas condiciones de seguridad y cumplan con la misión para la que han sido construidos.

Las obras de paso utilizadas en estas vías para salvar los diferentes obstáculos orográficos, cauces, irregularidades del terreno, etc., son un elemento esencial para que el camino cumpla con la función para la que fue diseñado, presentando una serie de características que las hacen peculiares con respecto a otros elementos de la vía como:

- Sus cimientos y elementos portantes deben soportar elevadas cargas debido a la maquinaria agrícola.
- En numerosos casos sus cimientos están sometidos a la acción prolongada de un curso de agua, erosionándolos, poniendo en peligro la integridad de la estructura.
- Generalmente la edad de este tipo de obra es elevada, a veces incluso de miles de años, y sus materiales y elementos presentan un elevado grado de meteorización y disgregación.
- Los materiales utilizados en su construcción son variados y con comportamientos estructurales diferentes.

Las obras de paso han evolucionado enormemente en los últimos años tanto desde el punto de vista del diseño como en la aplicación de nuevos materiales (Manterola, 1984), y la preocupación por su mantenimiento ha sido una constante por parte de algunas administraciones públicas. Estas obras de paso abarcan desde estructuras de pequeñas dimensiones como caños, tajeas o alcantarillas hasta puentes o viaductos de cientos de metros de longitud. Por lo tanto, dichas infraestructuras, como cualquier obra civil, provocan un impacto en el medio natural.

Generalmente, por falta de recursos de las administraciones públicas, estas obras de paso se encuentran en un estado deficiente, por lo que es necesario saber de qué tipo de estructuras disponemos y en qué estado de conservación se encuentran, sobre todo teniendo en cuenta aspectos tan importantes como la seguridad vial y la propia funcionalidad de la red de caminos rurales. Por ello, los datos recogidos y analizados pretenden ser una base de información útil, principalmente para la administración

pública, tanto en aspectos técnicos de la ingeniería rural, como en cuestiones no relacionadas directamente con este campo como puede ser el patrimonio histórico, sin la necesidad de costosos y complejos medios materiales.

La metodología de inspección propuesta por los autores se ha aplicado de forma preliminar en una muestra de 46 obras de paso existentes en tres caminos rurales en el municipio de Madrigal de la Vera (Cáceres), reflejando en este trabajo los resultados obtenidos.

Material y Métodos

Material

Los recursos materiales necesarios para realizar las inspecciones son los siguientes:

- Equipos de seguridad y salud: chaleco o abrigo reflectante, casco, botas de agua, botas de seguridad, arnés de protección anticaídas y ropa de lluvia.
- Vehículo apropiado para la circulación por este tipo de vías, tipo 4x4.
- Medios auxiliares: cuaderno de anotaciones y fichas de campo (ordenador portátil o Tablet PC opcional), cámara fotográfica, prismáticos, distanciómetro/cinta métrica, fisurómetro óptico, lupas micrométricas, plomadas, cuerdas, termohigrómetro, escalera de mano con alcance de 5 m, linterna o sistemas complementarios de iluminación, martillo, conos de balizamiento, triángulos de señalización, cadenas y botiquín.

Además, la documentación de la que se ha de disponer es la siguiente:

- Listado de identificación de los puentes a inspeccionar.
- Fichas y croquis de inventario y resultados de la anterior Inspección Principal.
- Guía para la realización de Inspecciones Principales del Ministerio de Fomento y Catálogo de Caminos Públicos de Extremadura.
- Fichas tipo necesarias para la evaluación de elementos (Fichas de datos generales, Fichas de evaluación de elementos, Ficha de observaciones y Fichas de fotografías).

Metodología

En la actualidad debido principalmente a la escasez de fondos de las administraciones locales, no existe metodología específica de inspección de caminos rurales, así como tampoco existe un sistema de gestión de obras de paso en este tipo de vías. Por ello, la metodología propuesta pretende ser una guía que requiera medios materiales simples, económicos y de fácil gestión.

La base documental para la elaboración de esta metodología ha sido:

- En primer lugar, acomodar al viario rural los sistemas de gestión de obras de paso en carreteras convencionales, generalmente muy similares en diferentes países del mundo.
- En segundo lugar, adaptar aportaciones pioneras en España a la técnica del mantenimiento de estas vías, como una metodología de inspección y evaluación del estado de conservación de estos caminos (Gallego *et al.*, 2008^a), y un procedimiento para la jerarquización de caminos de una red (Moya *et al.*, 2011).

- Por último, aprovechar como base de datos fundamental la Ley 12/2001, de 15 de noviembre, de Caminos Públicos de Extremadura. Este documento, además de inventariar y cartografiar la red viaria rural, recoge otros datos como longitud de cada tramo de camino, anchura, elementos singulares existentes, etc., determinantes para facilitar la labor de campo.

Teniendo en cuenta todo esto, podemos resumir la metodología de inspección en las siguientes fases:

- Fase 1: Inventario de las obras de paso.
- Fase 2: Inspección de daños de la propia estructura.
- Fase 3: Inspección del Cauce (en caso de que la estructura salve alguno).
- Fase 4: Inspección de los tramos de camino de entrada y salida de la estructura.
- Fase 5: Cálculo del Índice del Estado de Conservación General de la Obra de Paso (ICG).

Fase 1: Inventario

Durante esta fase de la metodología el objetivo es obtener información homogénea y fidedigna de las obras de paso de la red de caminos en estudio: localización, tipología, fichas generales de la obra de paso y del camino, fichas descriptivas de sus elementos, etc.

Fase 2: Inspección de daños de la estructura

Existen numerosos indicadores utilizados por las administraciones de diferentes países, destacando entre ellos los sistemas PONTIS y BRIDGIT en Estados Unidos, DANBRO en Dinamarca o el sistema AUSTROADS en Australia, si bien ninguno de ellos es totalmente objetivo. Pese a todo, en este trabajo se ha adaptado la metodología propuesta por la agencia de carreteras de Australia (Austroads, 2004), con gran éxito de utilización y de fácil aplicación. El procedimiento para calcular el Índice de Deterioro de la obra de paso (ID) se realiza de la siguiente forma:

1. Determinación del Índice de Deterioro del Elemento (IDE) para cada elemento.
2. En el caso de que la obra de paso disponga de varios elementos del mismo tipo, por ejemplo varias pilas, se seleccionará como índice representativo de este tipo de elementos al que presente peor calificación.
3. El Índice de Deterioro de la obra de paso (ID) se calcula ponderando los índices de cada elemento según su importancia en la estabilidad y seguridad de la estructura. Se utilizarán los pesos ponderados en función de cada elemento.
4. Cada peso ponderado de elemento se multiplica por un factor determinado por el material que compone el elemento. El factor refleja la vulnerabilidad del material y el tipo de falla que puede presentar un elemento de ese material.

La fórmula utilizada para calcular el Índice de Deterioro del Puente es la siguiente (ecuación 1):

$$IDP = (\sum IDE_i \times W_i \times M_i) / (\sum W_i \times M_i) \quad (1)$$

Donde:

IDE: Índice de Deterioro del Elemento.

W_i: Peso ponderado del elemento dentro de la estructura, que tomará valores de 1 a 4 en función de la importancia del elemento estructural dentro del conjunto de la estructura. A mayor importancia estructural, mayor peso tendrá el elemento.

M_i: Factor debido al material del elemento, que tomará los siguientes valores:

- Hormigón pretensado: 1.

- Hormigón armado: 2.
- Acero: 3.
- Madera: 4.
- Otros: 5

Fase 3: Inspección del cauce

Las características de los cauces salvados por estas estructuras determinan los procesos de socavación de sus cimientos. Por lo tanto, para poder evaluar la vulnerabilidad de la obra de paso frente a la socavación, es necesario conocer la subestructura de la obra y ciertos parámetros descriptivos del cauce. No es objeto de esta inspección realizar un estudio exhaustivo de la erosión y socavación de la estructura, ya que esto conllevaría la realización de trabajos subacuáticos, mediciones precisas y software complejo para el procesamiento de datos. El objetivo es recoger aquellos datos que tras una inspección visual nos permitan obtener un diagnóstico inicial del estado en el que se encuentra la estructura.

La metodología utilizada para el cálculo del riesgo de erosión y socavación de aquellas obras de paso que atraviesan cauces toma como referencia la metodología establecida por Témez (1988). El índice de riesgo hidráulico (IRH) se obtendrá de la suma del Índice de Erosión (IE) y el Índice de Socavabilidad (IS), como muestra la ecuación 2:

$$IRH = IE + IS \quad (2)$$

Estos dos últimos índices tendrán un valor comprendido entre 0 y 10, por lo que el IRH tendrá un valor comprendido entre 0 y 20, siendo mayor la puntuación asignada a los puentes que tengan mayor riesgo de erosión y socavación.

Fase 4: Inspección de los tramos de camino de aproximación y salida

El estudio de los tramos de camino rural de aproximación y salida de una estructura es necesario para poder evaluarla en su conjunto. Inspeccionar estos tramos proporcionará información acerca de los daños que pueda presentar la estructura a corto y medio plazo. Como se ha comentado anteriormente, apenas existe base metodológica de inspección de caminos rurales. Sin embargo, existe bibliografía específica de aplicación en caminos en España. Por su adecuación, se ha adoptado la metodología propuesta por Gallego *et al.* (2008a) introduciendo pequeñas modificaciones para su aplicación en la inspección de obras de paso en caminos rurales a tenor de los buenos resultados obtenidos (Gallego *et al.*, 2008b). Dado que dicha metodología aconseja inspeccionar subunidades de vía próximas a los 20 metros se ha optado por someter a inspección los 10 metros anteriores y posteriores de entrada y salida de la obra de paso en cuestión, además del tramo de camino que soporte la propia estructura.

Esta guía establece los elementos y factores del camino que deben ser inspeccionados y tenidos en cuenta y los datos a recoger en las diferentes fichas de campo. Una vez realizada la inspección y recogida la información necesaria, se debe evaluar el estado de conservación del camino mediante la obtención del Índice de Conservación del Camino (RCI), que se obtiene sumando los índices de condición ponderados de cada elemento inspeccionado, como muestra la ecuación 3:

$$RCI = 0,4PCI + 0,3DCI + 0,15MCI + 0,05CFCI + 0,05RSCI \quad (3)$$

Siendo:

RCI = Índice de Conservación del Camino

PCI = Índice de Conservación del Pavimento

DCI = Índice de Conservación de Cunetas

MCI = Índice de Conservación de la Morfología

CFCI = Índice de Conservación de Desmontes y Terraplenes

RSCI = Índice de Conservación de Señales de Tráfico

Como se ha comentado anteriormente, se ha modificado la expresión original propuesta por Gallego *et al.* (2008a), suprimiendo el subíndice CCI y reasignando los pesos de los coeficientes restantes, otorgando mayor importancia al pavimento y las cunetas pues de ellos depende fundamentalmente el estado de conservación del camino (Gallego *et al.*, 2008b).

Fase 5: Cálculo del Índice del Estado de Conservación de la Obra de Paso (ICG)

Partiendo del índice de deterioro de la obra de paso, que se obtendrá mediante la inspección de sus patologías, y cuyo rango podrá ser de 1 a 5, se pretende obtener un nuevo rango o valor final (Índice del Estado de Conservación General) que pretende combinar tanto el índice de erosión como el índice del estado de conservación del camino. El Índice del Estado de Conservación General permitirá una evaluación global de la estructura relacionando los índices parciales calculados que influyen en el estado de conservación general de la obra de paso (compuesta por la propia obra de paso, el cauce y el camino). La ecuación 4 muestra la expresión general para este índice:

$$ICG = (ID + 0'03125) \times (IRH + 0'01042) \times RCI \quad (4)$$

- ICG = Índice del Estado de Conservación General de la Obra de Paso.
- ID = Índice de Deterioro de la Obra de Paso.
- IRH = Índice de Riesgo Hidráulico.
- RCI = Índice del Estado de Conservación del Camino.

Los fundamentos de partida son los siguientes:

1. Una obra de paso con un índice de deterioro determinado siempre experimentará un aumento de dicho índice mediante la aplicación o combinación de los dos índices restantes. Como es evidente, nunca esta combinación de índices supondrá una disminución del índice del estado de conservación general.
2. Se conserva la escala de valores numéricos obtenidos en cada índice.
3. Se propone una clasificación de ICG que toma valores de 0 a 10. Los valores que toman los índices parciales son: ID: 0 – 5, IE: 0 – 20 y RCI: 0 – 100.
4. El caso más desfavorable será una obra de paso con IDP = 5, IE = 20 y RCI = 100, es decir, un ICG = 10.

La justificación de los pesos propuestos es fundamentalmente estructural:

- **Para el Índice del Estado de Conservación del Camino:** las dificultades para compactar perfectamente los tramos de acceso a una obra de paso, o contiguos a los estribos, facilitan la aparición de asentamientos, pudiendo originar efectos dinámicos importantes sobre el tablero, o producir desnivelaciones de algunos centímetros entre el pavimento de la calzada situado sobre los terraplenes de acceso junto a los estribos. La bibliografía consultada considera que este tipo de daños afecta a la vida útil pero no a la seguridad estructural o a la aptitud para mantener las condiciones de servicio de la obra de paso.

- **Para el Índice de Riesgo Hidráulico:** los daños producidos por la erosión y socavación afectan a la subestructura y cimentación, pudiendo comprometer la seguridad estructural y la aptitud de la obra de paso para resistir las cargas en servicio y las acciones de proyecto.

Con el ICG obtenido se pretende hacer una valoración del conjunto estructura-cauce-camino que permita una evaluación estructural de la obra de paso y de las condiciones de su entorno, que repercuten directamente en su estado de deterioro.

Tabla 1. Descripción del Índice de Condición General

Valor	Descripción del estado	
0-2	Muy bueno	<i>Deterioros leves del conjunto o deterioros sin consecuencias importantes “a priori”.</i>
2-4	Bueno	<i>Deterioros que pueden tener una evolución patológica y que pueden reducir las condiciones de servicio y/o si no se reparan en el tiempo adecuado.</i>
4-6	Deficiente	<i>Deterioros que indican una reducción de las condiciones de servicio y/o de la durabilidad. Requiere una actuación a corto o medio plazo.</i>
6-8	Muy deficiente	<i>Deterioros que se pueden traducir en una modificación del comportamiento estructural. Requiere una actuación a corto plazo y podría suponer una limitación de uso.</i>
8-10	Peligroso	<i>Deterioros de gravedad máxima que comprometen la integridad estructural del conjunto. Requiere una actuación urgente y podría suponer una limitación de uso o la puesta fuera de servicio.</i>

Resultados y Discusión

Como se ha comentado anteriormente la metodología descrita se ha aplicado en tres caminos rurales del municipio de Madrigal de la Vera, situado en la provincia de Cáceres. Se inspeccionaron aproximadamente 15 km de vía en las que se contabilizaron 46 obras de paso. Los tres caminos inspeccionados discurren por orografía montañosa típica de la zona de estudio, pudiendo encontrar tramos asfaltados o no (ver imágenes 1 y 2), siendo los primeros más comunes en zonas próximas al municipio o a edificaciones de relevancia. El ancho de calzada suele estar comprendido entre los 3 y 5 metros, si bien en numerosas ocasiones la vegetación reduce la anchura útil del camino y la frecuente ausencia de cunetas dificulta la evacuación del agua bombeada (imagen 3). La pendiente es elevada en algunos tramos, teniendo que salvar cauces estrechos de origen torrencial (imagen 5).



Imagen 1. Tramo sin asfaltar del camino del Arco



Imagen 2. Tramo asfaltado del camino del Arco



Imagen 3. Vegetación invadiendo tramo del camino del Arco

Se trata de 3 caminos (“Camino del Arco”, “Camino Labrao del Señor” y “Camino de Valverde por la Depuradora”) destinados principalmente a la actividad agrícola, atravesando en algún tramo un canal de riego en servicio (imagen 4), y que sirven de acceso a numerosas parcelas destinadas a actividades de recreo.



Imagen 4. Pontón sobre canal de riego



Imagen 5. Serie de tajeas sobre cauce

La aplicación de la metodología propuesta arroja los siguientes resultados:

1. Casi la totalidad de las obras de paso inspeccionadas fueron caños, tajeas y alcantarillas, encontrándose como estructura de mayor envergadura un pontón que salvaba un canal de riego (como se aprecia en la imagen 4).
2. De las 46 obras de paso inspeccionadas sólo 4 de ellas atravesaban un cauce. En el pontón que salvaba el canal de riego no se realizó cálculo de riesgo de erosión y socavación, ya que se trata de un cauce artificial cuyo caudal y características constructivas están prediseñadas y controladas.
3. Han presentado un Índice del Estado de Conservación General (ICG) bueno o muy bueno un total de 40 estructuras.

4. Las 6 obras de paso restantes han presentado un ICG deficiente.
5. Todas las obras de paso sobre cauces se encontraban en estado deficiente, salvo el pontón sobre el canal de riego. Además, los tramos de caminos anexos reflejaban deterioros ocasionados por el agua desbordada no asimilada por dicha obra.
6. A su vez, todas las obras de paso con ICG deficiente presentaban estados de conservación de los tramos de camino (RCI) con valores que reflejaban un mal estado de conservación de éste.
7. No se encontró ninguna estructura en un estado de conservación que pudiera comprometer la seguridad de los vehículos que pudieran circular por ella (ICG peligroso).

A continuación, el gráfico 1 muestra los valores alcanzados por el ICG en función de los valores obtenidos para los índices parciales de las 17 obras de paso encontradas en el “Camino del Arco”:

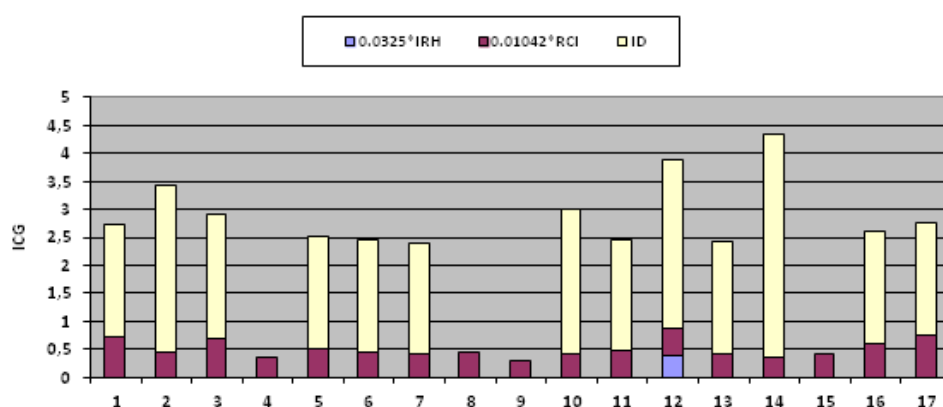


Gráfico 1. Valores del Índice de Condición General en función de los índices parciales de las 17 obras de paso del camino del Arco

De la misma manera, el gráfico 2 muestra un gráfico similar para las 16 obras de paso existentes en el “Camino de Valverde”:

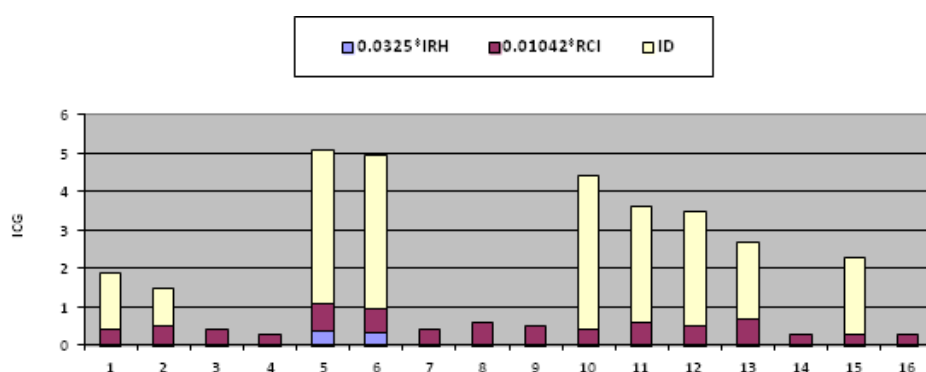


Gráfico 2. Valores del Índice de Condición General en función de los índices parciales de las 16 obras de paso del camino de Valverde

Finalmente, el gráfico 3 muestra esa misma información para las 13 obras de paso analizadas en el “Camino Labrao del Señor”:

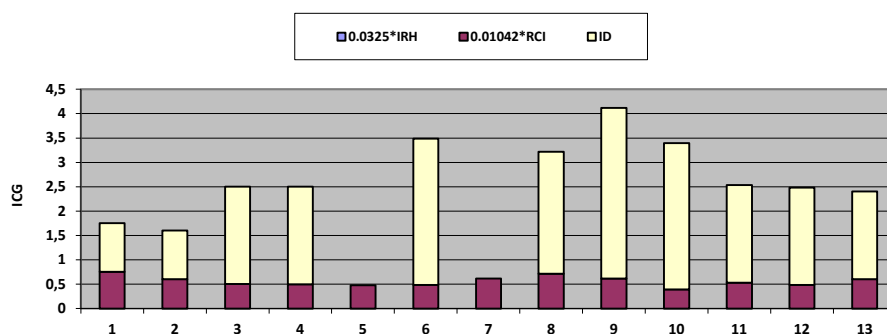


Gráfico 3. Valores del Índice de Condición General en función de los índices parciales de las 13 obras de paso del camino Labrao del Señor

En los gráficos anteriores puede observarse la influencia de cada índice parcial en el valor final del ICG en función de los pesos asignados.

Cabe destacar que el índice parcial ID es el que más fielmente refleja el comportamiento de la obra de paso a corto plazo y, por consiguiente, el que más valor aporta al ICG. En las 3 obras de paso en las que han intervenido los otros 2 índices parciales, IRH y RCI, su repercusión en el incremento del ICG no va más allá de la unidad, como se observa en los gráficos. Por lo tanto, se puede afirmar que la contribución de éstos ayuda a valorar la evolución de los daños estructurales observados en la obra de paso, en función del estado de conservación de las infraestructuras y elementos del entorno, como son los tramos de camino y cauces adyacentes.

Los trabajos de inspección visual también arrojaron otros datos a tener en cuenta:

1. **Obras de paso insuficientes.** La distancia entre obras de drenaje era excesivamente elevada, existiendo largos tramos que carecían totalmente de estas estructuras donde era evidente su necesidad.
2. **Obras de paso mal dimensionadas y ejecutadas.** Numerosas obras de paso carecían de la sección y orientación adecuadas para realizar la función que tienen encomendada.
3. **Señalización inexistente.** Ausencia total de señalización de regulación del tráfico o nombre de arroyos salvados en la totalidad del recorrido de los tres caminos estudiados.

Conclusiones

Los trabajos de inspección en campo junto con el posterior procesamiento de la información obtenida permiten establecer las siguientes conclusiones:

- **Caminos con deficiencias constructivas.** Todos los caminos inspeccionados presentaban numerosos deterioros debidos al nulo mantenimiento de las infraestructuras. Por ello, sería recomendable que la Administración implantara un plan de gestión que garantice un mantenimiento óptimo de éstas. Además, en algunos casos, como el camino de Valverde, acondicionado hace apenas 3 años, se han detectado deficiencias constructivas que justifican su deterioro en tan corto espacio de tiempo, lo que debe evitarse en la medida de lo posible en futuras actuaciones.
- **Deficiencias de proyecto.** Con respecto a la orientación de algunas obras de paso, se ha observado que en aquéllas situadas en pendiente el agua no entra por la embocadura y continúa cuneta abajo. En otras ocasiones, en este mismo

supuesto y con embocaduras provistas de muro o aleta lateral que ayuda a la entrada del flujo, se produce acumulación de áridos u otros elementos que obstaculizan la entrada del agua, se obstruye y se produce el rebose del agua sobre el camino. Se ha observado que este problema se da con mayor frecuencia cuando las obras de paso son más transversales al camino, mientras que en estructuras esviadas con mayor desnivel entre la embocadura y la desembocadura este inconveniente se reduce o elimina.

- **Mala planificación y gestión de obras de paso respecto a parcelas colindantes.** Existen obras de paso y cunetas que desaguan directamente sobre fincas aledañas provocando erosión de cultivos, acumulación de sedimentos, etc. Se observa que en algún caso el propietario pone remedio a este perjuicio taponando la embocadura, inutilizando la obra de drenaje. Por ello, es necesario prestar especial atención a la planificación y gestión de aquellas obras que, por su especial ubicación, presentan condicionantes de diseño y mantenimiento específicos.
- **Utilidad de la metodología propuesta.** Se puede decir que tanto el RCI como el ID aportan una información fidedigna del estado real en el que se encuentran el camino y la obra de paso, respectivamente. Por otra parte, el Índice del Estado de Conservación General que fusiona los diferentes índices parciales calculados y expresa la evaluación del estado del conjunto, es fundamental para valorar el deterioro y conservación de la estructura a medio y largo plazo, además de proporcionar la información suficiente para establecer las futuras actuaciones y medidas de mantenimiento.

Bibliografía

- Austroads, 2004. Guidelines for Bridge Management: Structure Information. Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities. Australia.
- Gallego, E., Moya, M., García, A. I., Ayuga, F., 2008a. Valuation of Low Volume Roads in Spain. Part 1: Methodology Development. *Biosyst Eng* 101(1), 123–134.
- Gallego, E., Moya, M., Piniés, M., Ayuga, F., 2008b. Valuation of Low Volume Roads in Spain. Part 2: Methodology Validation. *Biosyst Eng* 101(1), 135–142.
- Manterola, J., 1984. Evolución de los puentes en la historia reciente. *Inf Constr* 35, 359–360.
- Moya, M., Gallego, E., García, A.I., Ayuga, F., 2011. A proposed methodology for the management of low-volume roads in Spain. *Balt J Road Bridge E* 6(3), 153–162.
- Témez, J.R., 1988. Control de la erosión fluvial en puentes. Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Carreteras.

C17 - Optimización de estructuras de invernaderos multitúnel por medio de algoritmos genéticos.

Fernández, M.S.¹; Villar, J.R.² Vidal, P.³,

¹ Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal, Escuela de Ingenierías Agrarias de Badajoz, Avda. Adolfo Suarez s/n 06071 Badajoz, España, msfernandezgarcia@gmail.com; ² Grupo de Investigación GIF, Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura. Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, Cáceres España, jrvillar@unex.es; ³ Grupo de investigación Ingeniería Mecánica y de Fluidos Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal, Escuela de Ingenierías Agrarias de Badajoz, Avda. Adolfo Suarez s/n 06071 Badajoz, España, pvidal@unex.es

Resumen

El principal objetivo de este trabajo es optimizar mediante AG la construcción de invernadero multitúneles, incluyendo la cimentación.

Se realiza el estudio del invernadero comercial más usualmente utilizado y se consideran varias alternativas en su diseño a partir de esta. La optimización se lleva a cabo a partir de su cálculo estructural, aplicando la normativa existente y determinando el coste económico (euros/m², incluyendo mano de obra y materiales) de los distintos modelos planteados.

Primeramente se hace un estudio estructural en 3D mediante un análisis en segundo orden de un modelo de invernadero multitúnel utilizado comercialmente en el sudeste de Almería y siguiendo la normativa vigente. Para ello se realiza un cálculo en 2º orden utilizando un análisis matricial con MATLAB, previamente validado con un Método de Elementos Finitos (MEF).

Se plantean dos alternativas a dicho modelo, modificando diseño y/o dimensiones y se estudia el coste económico por metro cuadrado, que origina la construcción de dichas estructuras considerando su cimentación

Posteriormente se plantea un AG, de modo que permita que los mejores individuos de una población pasen a la siguiente generación incondicionalmente, para optimizar dichos diseños y calcular el coste por metro cuadrado que suponen estructuras y cimentación.

De los resultados se concluye que el AG desarrollado permite reducir el coste tanto estructural, como con la inclusión de la cimentación, de los tres diseños planteados entre un 4%-6%, y en los que una pequeña modificación en las dimensiones del invernadero multitúnel comercial normalmente utilizado puede provocar una reducción en torno al 5,58 % del coste en euros/m².

Palabras clave: métodos heurísticos; ingeniería de la construcción

Abstract

This paper presents the optimization by genetic algorithms of the structure of tunnel greenhouses, including the foundation. The most commonly used commercial greenhouse is studied, including several alternatives in this design. This is achieved by programming in Matlab the structural calculation, applying the current standards and determining the cost (€/m², including labour and materials) of the proposed models.

First, a 3D structural study is done using a second-order analysis of a tunnel greenhouse model used commercially in Southeast of Almería and applying the current standards. For this a 2nd order calculation is done using a matrix analysis with MATLAB, previously validated with Finite Element Method (FEM).

Two alternatives to this model are proposed, changing design and / or dimensions and the economic cost is studied considering structure and foundation in euros per square meter.

Subsequently a GA is proposed that allows the best individuals in a population to pass to the next generation unconditionally, to optimize these designs.

From the results it is concluded that the GA developed reduces both cost structure and foundation of the three designs from 4% -6%, and in which a small change in the dimensions of the commercial tunnel greenhouse normally used, can cause a reduction of about 5.58% of the cost in €/m².

Keywords: heuristic methods, construction engineering

Introducción

Existen numerosos tipos de invernaderos (Von Elsner et al., 2000 a,b), sin embargo en España predominan los de bajo coste, estructuras muy ligeras (Soriano et al., 2004). Antiguamente, el modelo predominante era el “tipo parral”, sin embargo, con el aumento del nivel de automatización en los invernaderos, se industrializan este tipo de estructuras y el invernadero multitúnel es el más extensamente utilizado (Iribarne et al. 2009).

En general se aprecia que las dimensiones de los perfiles de invernaderos se disponen de manera fija en los invernaderos de una zona. Por otro lado no se encuentran casi referencias de cálculo de estructuras de invernaderos, lo que deja entrever las escasas oportunidades de formación de los técnicos en la materia.

En trabajos previos (Fernández y Vidal, 2013) los autores analizaron estructuralmente las diversas geometrías de invernaderos multitúnel con el objeto de contrastar el coste por metro cuadrado de las mismas.

Modelo 1 (M1) (Figura 1): Es el invernadero cuyo diseño y perfiles son los comúnmente utilizados en la construcción de un invernadero comercial multitúnel de semejantes medidas. Se fijan las dimensiones del canalón con las características de uno comercial para la geometría de este tipo de invernadero (desarrollo 430 mm) que consideramos cumple todas las comprobaciones estructurales necesarias. La separación (S) entre pórticos principales y secundarios será de 2,5 m.

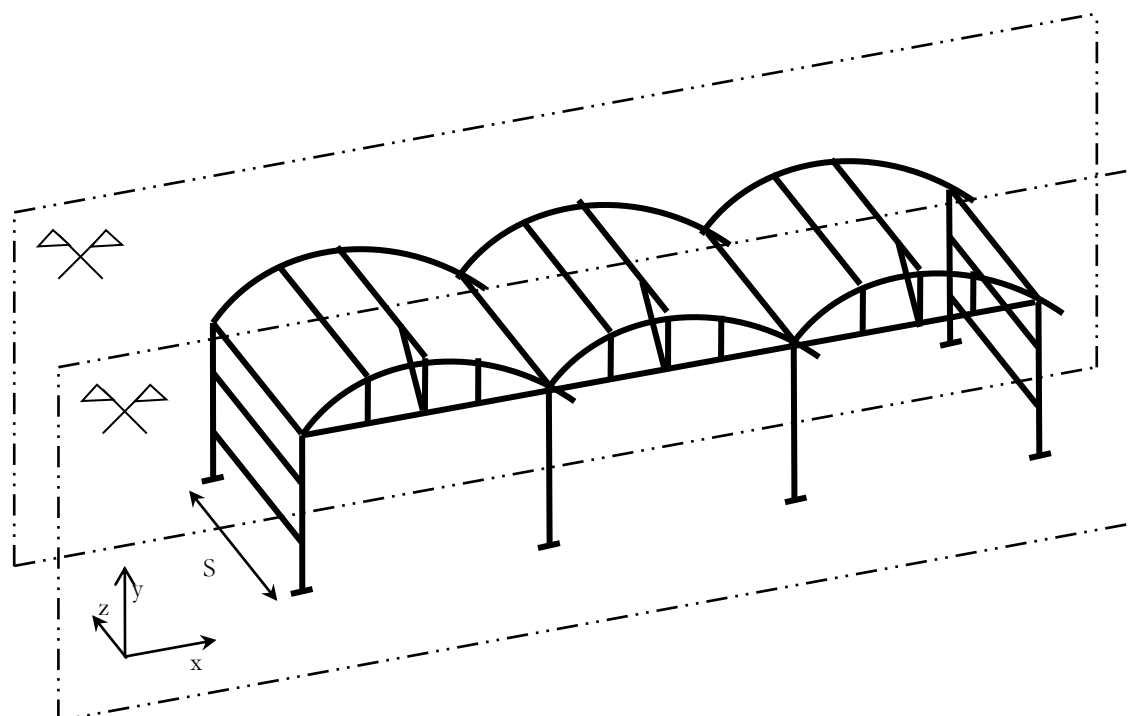


Figura 1. Modelo 1 (M1).

Modelo 2, M2, recogido en la Figura 2, está basado en el anterior, pero eliminando el pórtico secundario de arcos sin pilares intermedios y reforzando el canalón. Se

construye con el pórtico principal (fila de arcos que contienen los montantes y tirantes) del M1 unidos por canalones y correas del mismo modo que el modelo anterior.

Las uniones se plantean igual que las descritas en las condiciones de contorno y gracias a sus dos planos de simetría se reduce su cálculo matricial del mismo modo que en el M1.

En este caso el canalón se calculará según las comprobaciones estructurales planteadas, y la separación entre líneas de arcos es de 5 metros.

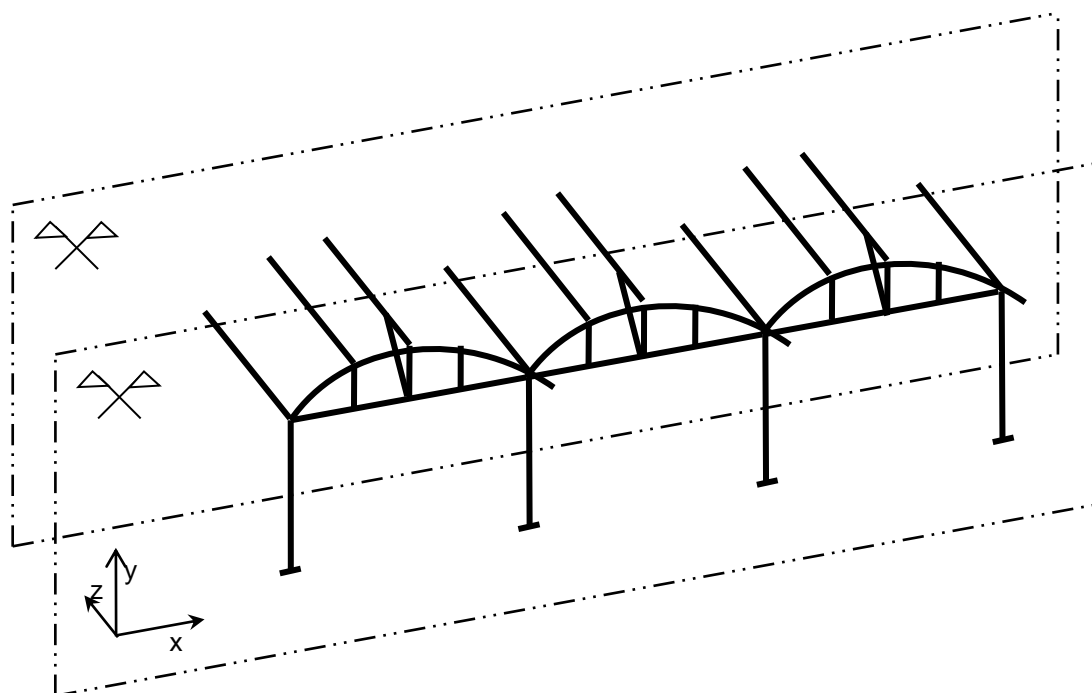


Figura 2. Modelo 2 (M2).

El Modelo 3 (M3). La geometría y uniones del M3 son las mismas que el M1 con las siguientes puntualizaciones: se colocará un perfil en el canalón más fuerte y las separación (S) entre arco flotante y principal será de 3,5 m.

Los resultados de los perfiles (Tabla 1) y los costes (Tabla 2) de aquellas geometrías se indican a continuación.

Tabla 1.- Perfiles en los modelos de invernaderos

	M1	M2	M3
Arco	Ø 60,2 - 1,7	Ø 60,2 - 2,5	Ø 60,2 - 1,7
Montante	Ø 25 - 1,5	Ø 25 - 1,5	Ø 25 - 1,5
Tirante	Ø 42,4 - 2	Ø 42,4 - 2,8	Ø 48,3 - 2,8
Correas	Ø 42,4 - 2,5	Ø 76,1 - 3,2	Ø 76,1 - 1,8
Pilar	# 80-80-3	# 90-90-5	# 90-90-6

Se recuerda que el modelo M1, corresponde a un invernadero convencional multitúnel cuyos perfiles son los que habitualmente se disponen en invernaderos de esta tipología en altitudes cercanas al nivel del mar, mientras que los perfiles de los modelos M2 y M3 se disponen definiendo los perfiles más ajustados a partir de los del modelo M1.

Tabla 2 Coste total inicial de estructura y cimentación en el M1, M2 y M3.

			MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
Estructura	Acero (kg)		671,65	906,73	1084,90
	Precio Acero (€/kg)		1,26	1,26	1,26
	Mano de obra (€ por modelo estudiado)	Túneles arcos principales	337,50	337,50	337,50
		Túneles arcos flotantes	112,50	-----	112,50
Cimentación	Hormigón (m³)		0,77	0,71	1
	Precio Hormigón (€/m³)		68,34	68,34	68,34
	Mano de obra (€/zapata)		11,80	11,80	11,80
Nº zapatas estudiadas			6	4	6
Superficie estudiada (m²)			120	120	168
Precio (€/m²)		Material	7,49	9,92	8,54
Precio (€/m²)		Mano de obra	4,34	3,21	3,10
Precio total (€/m²)			11,83	13,13	11,64

A partir de estas geometrías de estructuras y cimentación en este trabajo se establece como objetivo desarrollar diversos algoritmos de optimización de estructuras y cimientos con Algoritmos Genéticos (AG) que permitan reducir el coste de las mismas y ser una herramienta eficaz a la hora de decidir qué tipo de invernadero construir y con qué perfiles.

Material y Métodos

En este trabajo, el método utilizado para la optimización de los invernaderos multitúnel planteados, se realiza a través de AG, y concretamente AG elitistas (Prendes, 2002), programados en MATLAB.

El procedimiento se inicia una vez queda descrito el diseño estructural y de cimentación del modelo a optimizar.

Para la optimización se emplean por separado los tres modelos definidos anteriormente y considerando el cálculo estructural estudiado para cada uno de ellos.

Como en la mayoría de los problemas de optimización estructural utilizados en estructuras de acero (Hernandez, Fontán, Perezzan, y Loscos, 2005; Prendes Bello y del Coz, 2006), para este estudio se busca minimizar el peso de la estructura y cimentación bajo ciertas restricciones, que verifiquen la seguridad de los elementos estudiados.

Tamaño de la población

El algoritmo genético empleado consiste en un algoritmo binario elitista que emplea 241 perfiles posibles en todas las barras, de manera que se abarcan perfiles rectangulares, cuadrados y redondos usualmente empleados en este tipo de estructuras de acero S275.

Para la cimentación se empleará un diámetro fijo de 0,5 m y profundidades que variarán desde los 0,5 m hasta los 2 m.

La población es el conjunto de individuos evaluados durante una generación. La población inicialmente debería recoger los individuos contenidos en el espacio de búsqueda. Para ello se utiliza una población elegida al azar, de modo que impida una convergencia prematura hacia soluciones próximas a óptimos locales. No obstante, en ciertos casos, se suelen utilizar soluciones conocidas previamente, cuando se conoce la proximidad al óptimo local.

Goldberg (1989) efectuó un estudio teórico, obteniendo como conclusión que el tamaño óptimo de la población para ristra de longitud l , con codificación binaria, crece exponencialmente con el tamaño de la ristra. Sin embargo, este resultado implica que el uso de los AG en problemas reales es muy limitado, ya que no resultarán competitivos con otros métodos de optimización combinatoria. Posteriormente, Alander (1992), basándose en evidencia empírica sugiere que un tamaño de población comprendida entre l y $2l$ es suficiente para atacar con éxito los problemas por él considerados.

Por todo ello el tamaño de la población se considera igual a 1,5 veces el tamaño de los cromosomas que definen a un individuo y por tanto se tiene un tamaño de población de 60 individuos para la estructura y de 15 para la población.

Función objetivo

Se define una función (función objetivo) que determine la medida de efectividad del diseño, basado en el cálculo del mínimo coste, de la estructura o de la cimentación del invernadero (según proceda). Sin embargo, muchos de los individuos evaluados no son válidos, debido a que para ser aptos deben cumplir una serie de restricciones impuestas en su cálculo.

De esta manera se propone una función objetivo modificada, que además de la función objetivo, incluya una penalización que guarde relación con las restricciones que dicho individuo viole. Estas restricciones vienen dadas por los Índices de agotamiento (de aquí en adelante IA) calculados para la comprobación de barras y secciones en la estructura, o para las comprobaciones realizadas en el cálculo de la cimentación. Este IA no será mayor a 1 para cumplir las restricciones impuestas. Se considerará que con coeficientes muy inferiores a la unidad, el elemento estudiado estará sobredimensionado, de manera, que elementos con mayor IA a este, pero menor a 1 generará menor peso en la barra o zapata estudiada. Si el IA es mayor a la unidad, el elemento no cumpliría con las

restricciones planteadas y no sería seguro en el modelo estudiado. Con la penalización se pretende asignar un mayor peso a aquellos elementos que no cumplen con las restricciones establecidas o en una proporción menor, a aquellos que se encuentran sobredimensionados. Así, la función objetivo a minimizar es:

$$F(x) = \sum_{i=1}^j [f_i(x) + P_i(G_i(x))] \quad (1)$$

Donde,

x: población estudiada; F(x): función objetivo modificada; j: número de variables estudiadas; $f_i(x)$: función objetivo (peso estructura o cimentación); P_i : penalización de las restricciones impuestas en cada uno de los elementos. Parámetro de penalización de las restricciones impuestas ($G_i(x)$) con el mismo orden de magnitud que la función objetivo.

$G_i(x)$: Se definirá en función del máximo índice de agotamiento ($gi(x)$), producido en cada elemento estructural o el máximo índice de agotamiento generado en la zapata más desfavorable del invernadero multitúnel, definidos en el cálculo matricial establecido anteriormente. Este IA no deberá ser mayor a 1 para que cumpla las restricciones impuestas.

Donde P para la estructura será:

$$\text{Si } 0 < G_j(x) < 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 10^{(1-G_j(x))} \cdot 10$$

$$G_j(x) = 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 0$$

$$G_j(x) = 0 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 2000$$

$$G_j(x) > 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = G_j(x) \cdot 1000$$

Donde P para la cimentación será:

$$\text{Si } 0 < G_j(x) < 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 10^{(1-G_j(x))} \cdot 10000$$

$$G_j(x) = 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 0$$

$$G_j(x) = 0 \text{ entonces } P_j(G(x)) = 2000000$$

$$G_j(x) > 1 \text{ entonces } P_j(G(x)) = G_j(x) \cdot 10000000$$

Elitismo

Para asegurar que los mejores individuos de cada población no se pierdan en el proceso de optimización, se sigue una estrategia elitista. Se eligen para cada generación los individuos que menor valor de la función objetivo modificada tengan de entre todos los obtenidos en la misma generación, de manera que no recombinen y pasen directamente a la siguiente generación (elitistas) De este modo, se previene la pérdida de los mejores individuos de la población.

Estos serán aquellos que cumplan mejor las restricciones implantadas y menor peso estructural o de cimentación tengan.

El número de individuos que se eligen estará en función del valor del operador de elitismo, que se definirá teniendo en cuenta el porcentaje determinado en el ajuste de los parámetros definido posteriormente.

$$N_e = P_e \times N_t \quad (2)$$

Donde N_e es el número de individuos elitistas de la población en cada generación, P_e el porcentaje de elitismo a aplicar y N_t el conjunto de individuos que forman la población.

Tras un estudio de sensibilidad, Fernández (2014) establece un porcentaje de elitismo del 5%.

Operador selección

El método empleado para la selección es el de la ruleta tarada, basado en que la probabilidad de un individuo en ser elegido para la reproducción es

$$Prob_n = \frac{N+1-n}{\sum_{n=1}^{N_{indiv}} n} \quad (3)$$

Siendo N el total de individuos de la población.

Operador cruce

En el AG de la estructura del invernadero, el cruzamiento se realizará mediante recombinación, por un “doble cruce por fenotipo”, entendido fenotipo como el conjunto de bits que codifican un determinado perfil (variables de diseño) y el cruzamiento consiste en seleccionar dos puntos al azar entre fenotipos. La parte anterior al primer punto es copiada del genoma del padre, entre este punto y el segundo del genoma de la madre y hasta el final el del padre. Las zonas no elegidas anteriormente pasarán a formar el segundo hijo.

En el AG de la cimentación, el cruzamiento se realiza por “cruce por un punto por fenotipo” debido a la estructura del cromosoma, que solo presenta dos fenotipos.

El número de individuos que entraran a formar parte del cruzamiento (N_c) vendrá dado por:

$$N_c = P_c \times N_t \quad (4)$$

Donde P_c es la probabilidad de cruzamiento, definida como el porcentaje de la población que intervendrán en el cruzamiento (el valor aplicado se discutirá posteriormente) y N_t el número total de individuos de la población considerada, (el 50% al padre y el 50% a la madre).

Tras un estudio de sensibilidad, Fernández (2014) obtiene una probabilidad de cruzamiento P_c del 80% tanto para los AG de la estructura como la cimentación.

Operador mutación

Con este proceso se consigue que no se produzca una pérdida prematura de material genético bueno. Para ello se alteran bits en las cadenas de cromosomas de unos pocos miembros de la población.

El número de individuos que serán mutados (N_m) vendrá dado por :

$$N_m = P_m \times N_t \quad (5)$$

Donde P_m es la probabilidad de mutación, definida como el porcentaje de la población que mutarán y N_t el número total de individuos de la población. Tanto estos individuos

(Nm), como la posición del genoma a mutar, serán elegidos aleatoriamente. Tras un estudio de sensibilidad Fernández, (2014) estima que el porcentaje de mutación debe ser del 1%.

Nueva población

La nueva población queda reflejada en la Figura 3. En ella se representan por un lado los individuos que forman parte de la población inicial (I) y por otro los generados tras la implementación del AG elitista. En la población inicial, los individuos más aptos (elitistas) serán aquellos que menor valor de función objetivo modificada obtengan, y por tanto pasarán a formar parte de la siguiente generación (Figura 3), impidiendo que se pierda su potencial. De los individuos seleccionados para el cruzamiento, tras el cruce, se obtienen descendientes que pasaran a la población final. El resto de individuos que formarán la población final, con el mismo número de individuos que formaban la población inicial, vendrán seleccionados al azar. El conjunto de individuos de estos últimos se obtendrán de la diferencia del número de la población inicial con la suma del número de individuos elitistas y los individuos formados en la reproducción. (Figura 3.a). Finalmente, la población final quedará formada con la mutación de individuos generados del cruzamiento y/o los seleccionados al azar.

Programa creado

Se desarrolla un programa informático con MATLAB que muestra el precio (€) por metro cuadrado de un invernadero multitúnel según unas condiciones de emplazamiento, geometría, cargas y perfil considerado. Para la optimización se desarrolla un programa informático similar, con la singularidad de que se incluye el AG planteado anteriormente. (Figura 3.b).

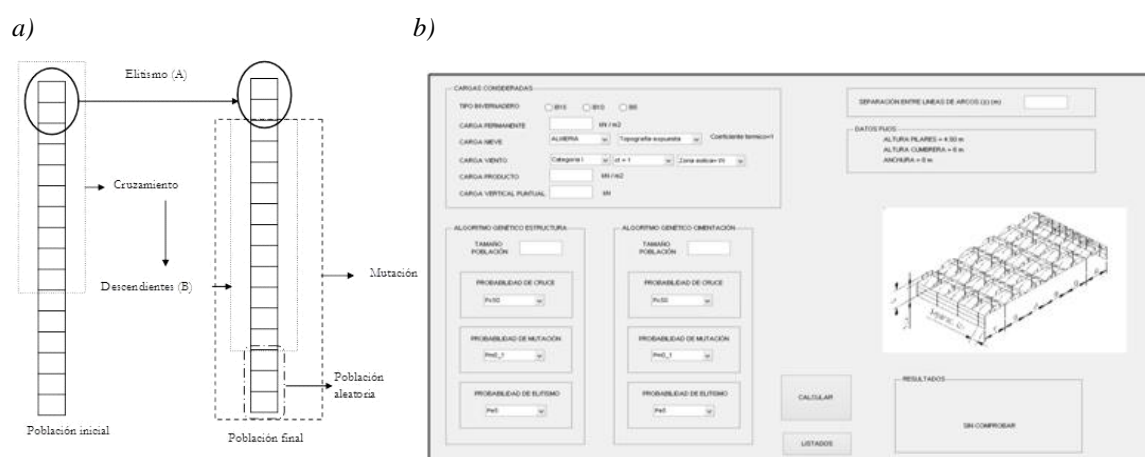


Figura 3. a) Representación de los procesos que intervienen el AG elitista implementado y población formada a partir de la población inicial. b) pantalla principal del programa

Resultados y discusión

Se muestran a continuación los resultados de la optimización de los modelos M1, los perfiles de M2 y M3 pueden consultarse en Fernández, (2014).

Los resultados de las cimentaciones se presentan en la Tabla 4.

La comparación de costes con las geometrías optimizadas se expone en la Tabla 5.

Tabla 3.- Perfiles de los elementos estructurales comprobados en la optimización del modelo M1 optimizado (M1OPT), con los máximos IA producidos en la hipótesis más desfavorable estudiada.

OPTIMIZACIÓN MODELO 1 (M1OPT)

Perfil		Sección		Barra	
		Índice		Índice	
		Agotamiento	Hipótesis	Agotamiento	Hipótesis
		Máximo		Máximo	
Arco	Ø 48,3 - 1,5	0,65	1	0,96	19
Montante	Ø 33,8 - 1,5	0,04	1	0,06	13
Tirante	Ø 60,2 - 1,8	0,66	13	0,91	13
Correas	Ø 55 - 1,5		0,92		
Pilar	Ø 101,6 - 2,8	0,79	1	0,83	1

Tabla 4.- Dimensiones de zapatas cilíndricas en M1OPT, M2OPT y M3OPT.

	M1OPT	M2OPT	M3OPT
Diámetro (m)-altura (m)	0,50 – 0,70	0,5 – 0,90	0,50 – 0,85

Tabla 5.- Estudio económico de los distintos modelos de la estructura, iniciales y optimizados.

		M1	M1OPT	M2	M2OPT	M3	M3OPT
Estructura	Acero (kg)	671,65	620,13	906,73	828,4	1.084,90	1.022,3
	Precio Acero (€/kg)	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
	Mano de obra Túneles arcos ppales. (€ por modelo estudiado)	337,5	337,5	337,50	337,50	337,50	337,50
	Túneles arcos flotantes	112,5	112,5	-----	-----	112,50	112,50
Cimentación	Hormigón (m³)	0,77	0,82	0,71	0,71	1	1
	Precio Hormigón (€/m³)	68,34	68,34	68,34	68,34	68,34	68,34
	Mano de obra (€/zapata)	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80
Nº zapatas estudiadas		6	6	4	4	6	6
Superficie estudiada (m²)		120	120	120	120	168	168
Precio (€/m²)	Material	7,49	6,98	9,92	9,10	8,54	8,07
Precio (€/m²)	Mano de obra	4,34	4,34	3,21	3,21	3,10	3,1
Precio total (€/m²)		11,83	11,32	13,13	12,31	11,64	11,17

De los resultados se puede apreciar como los valores de los perfiles usualmente definidos pueden reducirse. El modelo multitúnel habitual, M1, puede reducir su coste en

un 4,31 % mientras que el modelo más económico de todos es el modelo M3, que aporta una reducción del 5,58% por metro cuadrado.

Conclusiones

Tras la optimización por algoritmos genéticos el coste por metro cuadrado del acero de la estructura sin incorporar la mano de obra es en el modelo M1OPT 6,51 €/m², en el modelo M2OPT 8,70 €/m² y en el modelo M3OPT 7,67 €/m². En lo relativo al coste del hormigón se obtiene que su coste por metro cuadrado en el modelo M1OPT es 0,47 €/m², en el modelo M2OPT 0,40 €/m² y en el modelo M3OPT 0,41 €/m². Esto supone que el coste por metro cuadrado de invernadero incluyendo estructura y cimentación se obtiene para el modelo M1OPT 6,98 €/m², en el modelo M2OPT 9,10 €/m² y en el modelo M3OPT 8,07 €/m². El M1OPT sigue siendo la mejor opción en cuanto a material, reduciéndose en lo referido a €/m² un frente al modelo M2OPT y M3OPT un 23% y 13,5%.

Tras la optimización por algoritmos genéticos el coste por metro cuadrado incluyendo la mano de obra, ocasiona para el modelo M1OPT 11,32 €/m², para el modelo M2OPT 12,31 €/m² y para el modelo M3OPT 11,17 €/m². Por tanto, se observa, que al incluir el coste por metro cuadrado de la mano de obra, hace más económico el M3OPT frente al M1OPT, que resultaba la mejor opción en cuanto a materiales únicamente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente sufragado por la Junta de Extremadura a través de la ayuda a la investigación GR10047.

Bibliografía

- Alander, J.T., 1992. On optimal population size of genetic algorithms. Proceedings Computer Systems and Software Engineering, 6th Annual European Computer Conference, 65-70.
- Fernández, M.S., Vidal, P., 2013. Análisis estructural de invernaderos: alternativas en invernaderos multitúnel. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid.
- Fernández García, M. S., 2014. Optimización de estructuras de invernadero por algoritmos genéticos. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura.
- Goldberg, D.E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Reading, MA.
- Hernández, S., Fontán, A.N., Perezzan, J.C., Loscos P., 2005. Design optimization of steel portal frames. Adv Eng Software 36, 626-633.
- Iribarne, L., Ayala, R., and Torres, J.A., 2009. A DPS-based system modelling method for 3D-structures simulation in manufacturing processes. Simul. Modell. Pract. Theory 17 (5); 935-954.
- Prendes, M.B., 2002. Optimización del diseño y construcción de edificios metálicos en base a algoritmos genéticos. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.
- Prendes Gero, M. B., Bello García, A., Del Coz Díaz, J. J., 2006. Design optimization of 3d steel structures: genetic algorithms vs. classical techniques. J Constr Steel Res, 62(12),1303–1309.
- Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, Chr., Gratraud, J., Russo, G., Suay-Cortes, R., 2000a. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. J Agr Eng Res, 75(1), 1-16.

- Soriano, T., Montero, J.L., Sanchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Anton, A., Hernandez, J., Morales, M.I., Castilla, N., 2004. A study of direct solar radiation transmission in asymmetrical multi-tunnel greenhouses using scale models and simulation models. *Biosyst Eng.*, 88(2), 243-253.
- Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, Chr., Gratraud, J., Russo, G., Suay-Cortes, R., 2000a. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries, Part II: Typical Designs. *J Agr Eng Res*, 75(2), 111-126.

C18 - Cálculo de espesores de firme en caminos rurales

Gallego, E.¹; Moya, M.², Ayuga, F.¹

¹ Grupo de Investigación EIPIRMA, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Agrónomos, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, eutiquio.gallego@upm.es, francisco.ayuga@upm.es. ² Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Plasencia, C/Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia (Cáceres), manuelmi@unex.es

Resumen

Los caminos han desempeñado en España una función fundamental en el desarrollo rural. Son vías de baja intensidad de tráfico con características específicas, y para las cuales se han adaptado técnicas de construcción de las carreteras. El cálculo del espesor del firme en los caminos rurales se ha realizado hasta la fecha en España básicamente partiendo de dos variables: la Intensidad Media Diaria Anual (IMDA) de la vía, y el CBR (*California Bearing Ratio*) de la explanación sobre la que se asienta el camino. Sin embargo, en la actualidad numerosas entidades de gestión de carreteras han desarrollado diferentes metodologías que integran numerosos conceptos como el Módulo de Resiliencia del material, el número de ejes equivalentes totales, el coeficiente de calidad de los materiales, la pérdida de servicio de la vía o el nivel de fiabilidad. El procedimiento desarrollado por la AASHTO es el más avanzado, porque se basa en una gran cantidad de experiencias empíricas, y es empleado como referencia por una gran cantidad de agencias de conservación de carreteras y caminos rurales en todo el mundo. En esta comunicación se exponen el método AASHTO para el cálculo de los espesores de firmes en vías de baja intensidad de tráfico, así como los desarrollados por la agencia australiana de gestión de carreteras (Austroads) y el organismo TRL (*Transport Research Laboratory*) para estas vías. También se comparan los resultados obtenidos en el diseño del firme de un ejemplo tipo de camino rural mediante todos los métodos, observándose que los resultados en el diseño del firme son similares salvo cuando se emplean materiales de menor calidad. Los resultados obtenidos indican la necesidad de ahondar en aspectos claves como los coeficientes de calidad de los materiales o el tráfico para adaptar estas metodologías a las características de los caminos rurales en España.

Palabras clave: CBR, ejes equivalentes, coeficientes de calidad, Intensidad Media Diaria, AASHTO.

Pavement design procedures for Low Volume Road

Abstract

Low volume roads have played in Spain a key role in rural development over the past decades. They are low traffic intensity roads with specific characteristics, and for whom techniques usually employed for building highways have been adapted. The calculation of pavement thickness on low volume roads has been made to date in Spain by using basically two variables: Annual Average Daily Traffic (AADT) of the road and the California Bearing Ratio (CBR) of earth road foundation. However, many road management entities have developed different methodologies for the last decades that involve the use of many other concepts such as resilience modulus of the material, the total number of equivalent axle loads, the layer coefficient of road pavement materials, the loss of road serviceability or the reliability level. The procedure developed by AASHTO is the most advanced one, because it is based on a large amount of empirical experiences, and is used as a reference by many agencies devoted to road maintenance throughout the world. In this paper, the results obtained according to the AASHTO method for calculating pavement thickness in low volume roads have been compared with those obtained by using the methodologies developed by Australian road management agency (Austroads) and the Transport Research Laboratory (TRL). A case study has been proposed to compare the final pavement designs obtained by using the three methodologies aforementioned. The results show that similar designs are obtained when using good quality materials but some differences appear if worse quality materials are employed. It has been also found the need for further research on key aspects such as quality coefficients of the materials or traffic composition to adapt these methodologies to Spanish circumstances.

Keywords: CBR, axle load equivalent, layer coefficient, AADT, AASHTO.

Introducción

Los caminos rurales han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las zonas rurales en España a lo largo del siglo XX (Moya *et al.*, 2011). La principal función de estas vías de transporte ha sido siempre facilitar el acceso a las zonas de cultivo y las explotaciones agropecuarias situadas en el medio rural. Sin embargo, los caminos rurales han sufrido una notable evolución a lo largo de las últimas décadas que les ha llevado a desempeñar otras muchas funciones no previstas inicialmente en su diseño, como el acceso a zonas recreativas, a sitios de interés cultural o turístico o su uso eventual por los servicios de emergencia (Gallego *et al.*, 2008). Como consecuencia de este proceso, las cargas que han debido soportar los caminos rurales han sido muy superiores, en muchos casos, a las previstas inicialmente durante su diseño.

Los caminos rurales son vías de transporte con características muy diferenciadas de las carreteras: forman pequeñas redes, densas pero aisladas entre sí; su perfil longitudinal se adapta a la topografía circundante para minimizar los movimientos de tierra; se emplean técnicas de bajo coste en su construcción, lo que implica que la mayor parte de los caminos no estén asfaltados. Por todo ello, las normas vigentes en España para la construcción de carreteras no contemplan específicamente estas vías (Ministerio de Fomento, 2000; 2003), aunque algunos de sus elementos puedan ser aplicables a ellas.

El diseño del firme del camino es uno de los aspectos más importantes, pero hasta la fecha en España se ha realizado siguiendo una metodología simplificada recogida en Dal – Ré (2001). Sin embargo, numerosas agencias de conservación de carreteras han desarrollado durante las últimas décadas diversos procedimientos para el cálculo del espesor del firme que incluyen nuevos avances y conceptos, como el nivel de fiabilidad o el módulo de resiliencia del material. En este sentido, es importante destacar de forma preeminente la metodología (AASHTO, 1993) desarrollada por la AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Officials*) a raíz del extenso programa de ensayos en carreteras realizado por esta agencia a partir de 1960 (HRB, 1962). Por ello, el objetivo del presente trabajo consiste en comparar los resultados en el diseño de un firme, mediante un ejemplo tipo, cuando se emplean los distintos procedimientos de cálculo firme existentes. Además, se proponen nuevas composiciones de tráfico para distintos tipos de caminos rurales.

Material y Métodos

En este apartado se exponen los procedimientos de diseño del firme de caminos rurales analizados en el presente trabajo. En primer lugar se expondrán los métodos empleados en España, y posteriormente los procedimientos aplicados por otras agencias de gestión de carreteras en otros países.

Diseño del firme de caminos rurales en España

El método más utilizado hasta la fecha para el diseño del firme de los caminos rurales en España es el expuesto por Dal – Ré (2001). Se obtiene un espesor de suelo tipo (Figura 1) a partir del valor de referencia del CBR (*California Bearing Ratio*) de la explanación sobre la que se asienta el camino, y del tráfico estimado para el camino rural.

La clasificación del tráfico que se emplea para calcular el espesor del suelo tipo es la indicada en la Tabla 1, donde se emplea como referencia el número de vehículos diarios de más de 1,5 t de tara que circulan previsiblemente por el camino. Este valor es un dato medio anual, por lo que tendrá en cuenta las lógicas oscilaciones que se producen en la composición del tráfico a lo largo del año. Sin embargo, se aconseja que se empleen los valores en épocas punta registrados en aquellos caminos situados en zonas cuyo tráfico presente un marcado carácter estacional.

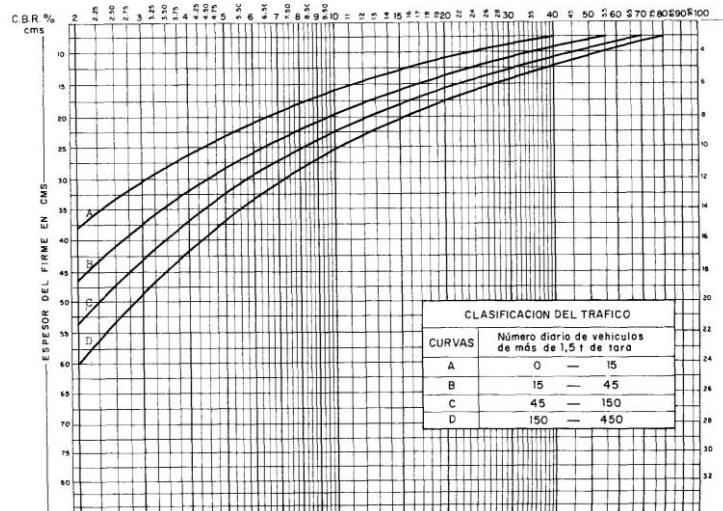


Figura 1. Espesor del firme del suelo tipo según el CBR de la explanación y la intensidad de tráfico del camino

Tabla 1. Clasificación del tráfico en caminos rurales según el número diario de vehículos con tara mayor a 1,5 t

Curva	Número diario de vehículos
A	0 – 15
B	15 – 45
C	45 – 150
D	150 – 450

Por otro lado, cualquier firme de un camino rural puede disponer de hasta tres capas diferentes: sub-base, base y capa de rodadura, cada una con un espesor determinado (e_{SB} , e_B y e_R , respectivamente). Por ello, es necesario aplicar un método diferencial (Ecuación 1) que transforme el espesor real de cada capa en un espesor equivalente de suelo tipo (e_T), debido a la diferente resistencia aportada por los distintos materiales que se pueden usar en la construcción del firme. Esta transformación se realiza empleando los coeficientes de calidad relativos a cada capa del firme (C_R , C_B y C_{SB} para la capa de rodadura, base y sub-base, respectivamente), mostrados en la Tabla 2. El valor de referencia de los coeficientes de calidad ($C = 1$) se corresponde con la estabilización granulométrica a 1" o un suelo-cemento. Así, los coeficientes de calidad serán superiores a uno en los materiales que aportan mayor resistencia al firme e inferiores a uno en los materiales de peor calidad.

$$e_T = C_R \cdot e_R + C_B \cdot e_B + C_{SB} \cdot e_{SB} \quad (1)$$

Tabla 2. Coeficientes de calidad de materiales del firme según Dal-Ré (2001)

Material	Coeficiente de calidad
Hormigón asfáltico	1,70
Grava - cemento	1,50
Macadam	1,20
Suelo – cemento	1,00
Suelo – betún	1,00
Estabilización a 1"	1,00
Estabilización a 1 ½", 2"	0,90
Estabilización a ¾ "	0,80
Zahorra natural	0,80
Arena - arcilla	0,70
Suelos A – 6 / A – 7 estabilizados con cal	0,70

La norma española de carreteras vigente para el cálculo del firme (Ministerio de Fomento, 2003) establece un catálogo de soluciones del firme en función del tipo de explanada y la intensidad del tráfico que circule por la vía. El caso de los caminos rurales no está directamente contemplado, pero la mayoría se encuadraría en las categorías de tráfico T41 (entre 25 y 50 vehículos pesados/día que circulen por la vía) y T42 (menos de 25 vehículos pesados/día que circulen por la vía). La norma de carreteras no define el concepto de vehículo pesado, aunque teniendo en cuenta las referencias en normativas anteriores es posible que se refiera a los vehículos con más de 80 kN de peso. En cuanto a la categoría de la explanación, ésta se obtiene a partir del ensayo de carga con placa. La tabla 3 muestra las soluciones de firme que se proponen para las categorías T41 y T42.

Tabla 3. Catálogo de soluciones del firme para categorías de tráfico T41 y T42 empleando como materiales mezclas bituminosas (MB), hormigón de firme (HF), zahorra artificial (ZA) y suelo-cemento (SC)

Categoría de explanada	T41	T42
E1	<div> <div>4111 MB 10⁽¹⁾ ZA 40</div> <div>4112 MB 8 SC 30</div> <div>4114 HF 20 ZA 20</div> </div>	<div> <div>4211 MB 5⁽¹⁾ ZA 35</div> <div>4212 MB 5 SC 25</div> <div>4214 HF 18 ZA 20</div> </div>
E2	<div> <div>4121 MB 10⁽¹⁾ ZA 30</div> <div>4122 MB 8 SC 25</div> <div>4124 HF 20</div> </div>	<div> <div>4221 MB 5⁽¹⁾ ZA 25</div> <div>4222 MB 5 SC 22</div> <div>4224 HF 18</div> </div>
E3	<div> <div>4131 MB 10⁽¹⁾ ZA 20</div> <div>4132 MB 8 SC 20</div> <div>4134 HF 20</div> </div>	<div> <div>4231 MB 5⁽¹⁾ ZA 20</div> <div>4232 MB 5 SC 20</div> <div>4234 HF 18</div> </div>

Método americano de la AASHTO

El método de diseño del firme recogido en la guía de la AASHTO (1993) recoge la experiencia de los ensayos realizados, e incorpora los siguientes aspectos clave para diseñar el firme:

- El Nivel de Servicio de la Carretera (PSI, Pavement Serviceability Index), que en su concepción original se definía como “la aptitud del firme para permitir una conducción suave, confortable y segura, manteniendo sus propiedades estructurales en un estado adecuado”. Por ello, se trata de evaluar el grado de satisfacción durante la conducción por una carretera determinada.
- La equivalencia entre ejes de diverso tipo y cargas con respecto a los daños producidos sobre la carretera, con el concepto “*Equivalent Standard Axle Load* (ESAL)”.
- La definición y establecimiento de la composición del tráfico, y las intensidades de circulación.
- La equivalencia en cuanto a la resistencia estructural de los diferentes materiales empleados en la construcción de las distintas capas del firme, mediante la definición del concepto “coeficiente de capa (*Layer coefficient*)”.
- La utilización de un ensayo en condiciones más realistas de aplicación de cargas sobre el firme o la explanación para obtener su capacidad portante, denominado “Ensayo de Resiliencia”.
- El desarrollo del concepto de “Fiabilidad (*Reliability*)”, en el sentido de evaluar el adecuado mantenimiento de la carretera para desempeñar su función.
- La formulación de ecuaciones empíricas que permiten deducir el espesor del firme requerido a partir de una serie de variables de diseño, como la capacidad portante de la explanación, el número de aplicaciones de carga sobre la carretera previstas durante su vida útil, el nivel de fiabilidad establecido y la reducción admitida del nivel de servicio.
- El número estructural (SN, *Structural Number*), que constituye un espesor teórico del firme que deberá alcanzar éste para garantizar un nivel adecuado de servicio de la carretera durante la vida útil proyectada. Cada una de las posibles capas del firme contribuye a que se alcance el número estructural necesario. La magnitud de dicha contribución depende del material empleado, a través del coeficiente de capa, y del espesor real de la capa del firme en cuestión.

La norma americana propugna el uso de la Ecuación 2 para deducir el valor del número estructural en firmes flexibles, en cuyo cálculo intervienen numerosas variables.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN+1) - 0,2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (2)$$

- SN: número estructural, en pulgadas (SN: structural number)
- W_{18} : número de ejes equivalentes de 18-kips (80 kN) durante toda la vida útil de la vía.
- Z_R : desviación normal estándar, obtenida a partir del porcentaje de fiabilidad fijado R (%).
- S_0 : Desviación estándar.

- Δ_{PSI} : variación del valor del índice de servicio del firme desde la construcción hasta su valor residual. (PSI: Pavement Serviceability Index).
- M_R : módulo de resiliencia efectivo anual (en psi)

El cálculo del número de ejes equivalentes de 80 kN que circulan por la vía a lo largo de su vida útil puede realizarse según la ecuación 3, a partir del valor del número de ejes equivalentes diarios, w , y el factor de crecimiento del tráfico, f (Ecuación 4). El factor de crecimiento del tráfico se obtiene a partir de la vida útil del camino en años, n , y la tasa de crecimiento del tráfico en tanto por uno, g .

$$W_{18} = w \cdot 365 \cdot f \quad (3)$$

$$f = \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (4)$$

El cálculo del número de ejes equivalentes diarios resulta muy complejo para el caso de los caminos rurales. Conocer con cierta precisión la Intensidad Media Diaria Anual (IMDA) que transita por un camino rural no es sencillo, debido a la diferente composición del tráfico de unos caminos a otros, y las variaciones estacionales. Sólo es posible conocer este dato con fiabilidad si se instalan estaciones de aforo a lo largo de distintos tramos de la vía, lo cual resulta costoso y requiere tiempo para analizar tendencias. Pero es aún más complejo poder transformar el valor del IMDA en un dato de ejes equivalentes diarios, w , puesto que se debe establecer una composición de tráfico que contemple la gran variabilidad de vehículos existentes y, además, tener en cuenta que el daño ocasionado por cada tipo de vehículo sobre la vía es variable. En este punto aparece el concepto de "Factor de equivalencia de cargas (ESAL, *Equivalent Standard Axle Load*)", desarrollado a raíz del AASHO Road Test.

El factor de equivalencia de cargas parte de la adopción como patrón de referencia del daño ocasionado por vehículos de eje simple con una carga por eje de 18-kips (80 kN). Por ello, el factor de daño para este tipo de vehículo es igual a 1.0. Así, a partir de los resultados experimentales se dedujo el concepto de número de ejes equivalentes de 18-kips (ESAL) para cada tipo de vehículo. La definición del tipo de vehículo viene condicionada básicamente por la carga por eje, y el número de ejes. De esta forma, la norma de firmes de la AASHTO (1993) incluye en su Anexo D unas tablas que proporcionan el número de ejes equivalentes (ESAL) para cada tipo de vehículo. Así, para el caso de firmes flexibles se proporcionan los factores correspondientes a ESAL para distintos tipos de ejes (simple, tándem o triple), en función del Número Estructural (Structural Number, SN) y el Nivel terminal de Servicio de la carretera. En el caso de los firmes rígidos, la variabilidad es igual con la salvedad de que se reemplaza el número estructural por el espesor de la losa.

Muchas agencias de conservación de carreteras suelen emplear, de forma simplificada, la Ecuación 5 para obtener el factor de equivalencia, ESAL, a partir del peso por eje considerado del vehículo, P (en kips), en relación con el valor de referencia (18 - kips). El coeficiente del exponente, α , varía de una agencia a otra, aunque un valor bastante habitual es el valor igual a cuatro ($\alpha = 4$).

$$ESAL \text{ factor} = (P/18)^\alpha \quad (5)$$

De esta forma, si se establece la existencia de un número total de tipologías de vehículos que circulan por la vía, n , y para cada una de las cuales se obtiene su factor de equivalencia de cargas, $ESAL_i$, y el tanto por uno que representan en el tráfico de la vía, v_i , se puede calcular el número de ejes equivalentes diarios, w , a partir de la ecuación 6.

$$w = IMDA \sum_{i=1}^n ESAL_i \cdot v_i \quad (6)$$

Si se observa la ecuación 5, se puede apreciar que solamente los vehículos más pesados serán aquellos que determinen el daño producido sobre el firme. Por esta razón, muchas agencias únicamente tienen en cuenta el porcentaje de vehículos con carga superior a 18-kips (80 kN) por eje a la hora de obtener el número de ejes equivalentes totales que soportará la vía a lo largo de su vida útil.

El concepto de fiabilidad se refiere a la probabilidad de que una sección del firme, diseñado según el procedimiento establecido, desempeñe de manera satisfactoria su cometido a lo largo de su vida útil, atendiendo a las condiciones de tráfico y ambientales contempladas. Por lo tanto, se trata de contemplar una función de probabilidad en relación con la garantía que se quiera tener acerca del correcto desempeño de las funciones del firme a lo largo de su vida útil. En el caso de los caminos rurales, la AASHTO recomienda establecer un nivel de fiabilidad del 50%, para el cual la desviación normal estándar, Z_R , adopta un valor igual a cero. Por otro lado, el valor aconsejado para la desviación normal en los firmes flexibles es igual a 0,45 ($S_0 = 0,45$), mientras que para la variación del nivel de servicio del firme, ΔPSI , el manual recomienda adoptar un valor igual a 2,5, pudiendo llegar a 3,0.

Por último, el cálculo del número estructural depende de un parámetro fundamental, el módulo de resiliencia equivalente anual de la explanación, M_R , que representa una medida de la capacidad portante de la explanación o los diferentes materiales empleados en la construcción del firme. El módulo de resiliencia trata de obtener en condiciones lo más reales posibles el módulo de elasticidad que presentaría un material granular, para lo cual se somete a éste a un número preestablecido de ciclos de carga. La realización del ensayo está normalizada según la norma AASHTO T 274, y básicamente consiste en la aplicación cíclica de un número de cargas determinado en un aparato de ensayo triaxial. Se establece una tabla con diferentes combinaciones de tensiones aplicadas y número de veces que se aplica la carga, fijándose las condiciones de aplicación de la carga (velocidad y tiempo de aplicación), y al final de todos los ciclos de carga se obtendría el módulo de resiliencia.

Los factores que condicionan el valor del módulo de resiliencia son muy numerosos, tales como la naturaleza de los áridos, el contenido de humedad de la muestra o la tensión aplicada. Por ello, resulta complicado establecer un valor de referencia del módulo de resiliencia, especialmente teniendo en cuenta las variaciones de tráfico e intensidades aplicadas, o las distintas condiciones de humedad en que puede encontrarse la explanación a lo largo del año. El problema de este parámetro radica en la escasa bibliografía existente acerca de resultados en distintos materiales, así como la complejidad en la implementación del ensayo, que supone que en muchas agencias de conservación de carreteras o laboratorios de geotecnia no se aplique. Por ello, se han

desarrollado numerosas ecuaciones que relacionan su valor con otros parámetros de resistencia que se determinan más habitualmente, como por ejemplo el valor del CBR. Son muy numerosas las ecuaciones que relacionan el CBR y el módulo de resiliencia de la explanación, aunque la AASHTO recomienda la relación (Ecuación 7) desarrollada por Heukelom y Klomp (1962), especialmente indicada para suelos finos con CBR menor a 10. En este caso, el Módulo de Resiliencia del firme (M_R , en psi) depende linealmente del valor del CBR.

$$M_R = 1500 \cdot CBR \quad (7)$$

El método AASHTO para el diseño de firmes flexibles es también un método diferencial (Ecuación 8), por lo que se deberá tener en cuenta la contribución individual de cada capa al número estructural (SN, en pulgadas) según su coeficiente de calidad correspondiente. Así, se tendrán en cuenta los espesores, en pulgadas, relativos a las capas de rodadura (D_1), base (D_2) y sub-base (D_3), y sus correspondientes coeficientes de calidad, (a_1 , a_2 , y a_3 , respectivamente).

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 \quad (8)$$

En el caso de la AASHTO existen numerosas gráficas y ecuaciones que permiten deducir los coeficientes de calidad para cada material que pueda emplearse en la construcción del firme, aunque los valores más empleados habitualmente para materiales comunes en caminos rurales son los recogidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de calidad de materiales del firme según AASHTO (1993)

Material	Coeficiente de calidad
Hormigón asfáltico	0,40
Suelo estabilizado con productos bituminosos	0,23
Grava - cemento	0,20
Macadam	0,20
Suelo – cemento	0,16
Estabilización a 1"	0,14
Estabilización a 1 ½", 2"	0,10
Zahorra natural	0,09
Suelos A – 6 / A – 7 estabilizados con cal	0,08

Método de la agencia australiana Austroads

Austroads es una asociación que agrupa diferentes agencias encargadas de la gestión de carreteras en la zona de Australia y el sudeste asiático, y es responsable de la publicación de otro método para el diseño de firmes de caminos rurales (Austroads, 2005). El espesor del firme, h (mm), se calcula (Ecuación 9) a partir del CBR de la explanación, y el número total de ejes equivalentes de 18-kips (80 kN) a lo largo de la vida útil del camino, w_{18} . El problema de este método es que no establece diferencias en la calidad de los materiales del firme. Por ello, en la aplicación realizada en el apartado de resultados se considerarán los coeficientes de calidad definidos en la Tabla 2.

$$h = 0,479 \cdot \left[219 - 211 \cdot \log_{10} CBR + 58 \cdot (\log_{10} CBR)^2 \right] \log_{10}(14 \cdot w_{18}) \quad (9)$$

Método del Transport Research Laboratory

El método desarrollado por el *Transport Research Laboratory* (TRL) del Reino Unido es también muy sencillo, porque el espesor del firme, h (en mm), se calcula nuevamente (Ecuación 10) sólo a partir del CBR de la explanación y el número total de ejes equivalentes de 18-kips (80 kN), w_{18} , a lo largo de la vida útil del camino. Al igual que con el método de la Austroads, no considera diferencias en la calidad de los materiales del firme empleados. La aplicación realizada en el apartado de resultados considerará los coeficientes de calidad definidos en la Tabla 2.

$$h = \frac{190 \cdot \log_{10}(w_{18}) + 0,24}{CBR^{0,63}} \quad (10)$$

Resultados y Discusión

La resolución de las ecuaciones 2, 9 y 10 permite obtener las figuras 2 – 4 que determinan los espesores tipo correspondientes al método de la AASHTO, Austroads y TRL, respectivamente, para distintos valores de w_{18} .

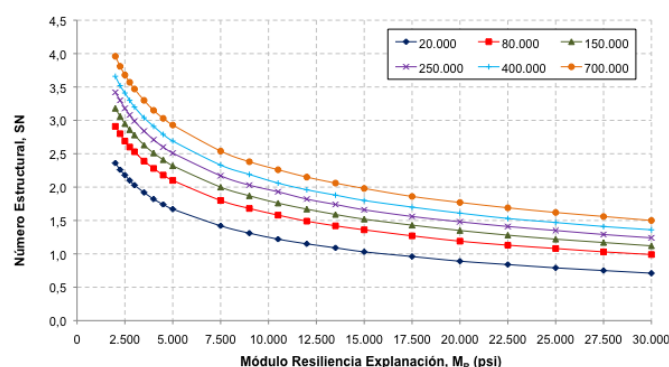


Figura 2. Número estructural, SN, en firmes flexibles para caminos rurales según el método AASHTO, en función del módulo de resiliencia, y diferentes valores del número total de ejes equivalentes de 18-kips (w_{18})

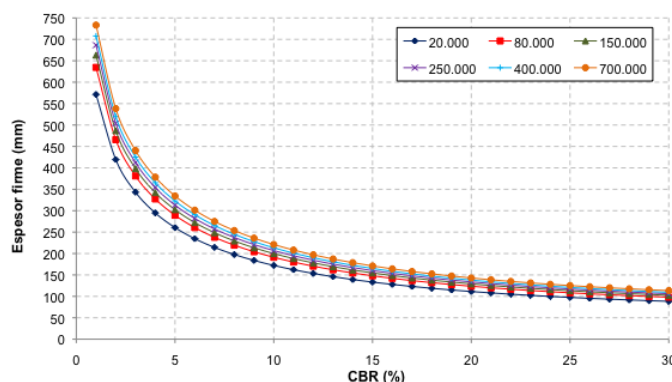


Figura 3. Espesor del firme h (mm) en firmes flexibles para caminos rurales según Austroads, en función del CBR, y diferentes valores del número total de ejes equivalentes de 18-kips (w_{18})

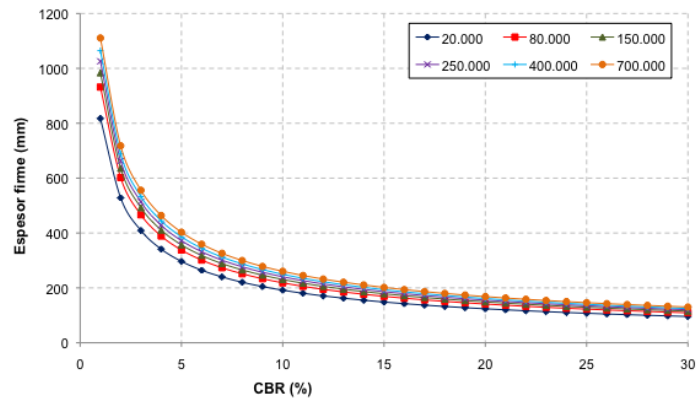


Figura 4. Espesor del firme h (mm) en firmes flexibles para caminos rurales según TRL, en función del CBR, y diferentes valores del número total de ejes equivalentes de 18-kips (w_{18})

Propuesta de composición del tráfico

Como se ha expuesto, una de las principales dificultades en el cálculo del número total de ejes equivalentes a lo largo de la vida útil del camino radica en la dificultad de establecer la composición del tráfico en estas vías. Por ello, los autores proponen las composiciones de tráfico recogidas en la Tabla 5 para las principales categorías de caminos consideradas habitualmente (Dal – Ré, 2001).

Tabla 4. Composición del tráfico en caminos rurales

Tipo de vehículo			Composición del tráfico (%) según tipo de camino		
Carga por eje (t)	Carga por eje (kips)	ESAL factor	Camino principal. Regadío	Camino principal. Secano	Camino secundario. Secano
1,5	3,3	0,0011	20	30	40
3	6,6	0,0181	30	30	30
5,5	12	0,1975	10	20	15
8	18	1	40	20	15

Ejemplo de aplicación

Se ha considerado un camino principal de secano, con IMDA igual a 150 vehículos/día, una vida útil del camino de 20 años y una tasa de crecimiento del tráfico del 1% anual ($g = 0,01$). Como consecuencia de estos datos, y aplicándose las ecuaciones anteriormente definidas, se obtiene en dicho camino que $w_{18} = 295.680$ ESAL, a lo largo de toda la vida útil del camino. Si se aplican las ecuaciones o gráficas correspondientes a cada método, se obtienen en la Tabla 5 los distintos espesores de suelo tipo requeridos para dos valores de CBR de la explanación considerados. En este sentido, se ha transformado el valor del CBR en el correspondiente al módulo de resiliencia mediante el uso de la ecuación 7 para poder obtener el número estructural precisado por el método AASHTO

Si se parte de los datos recogidos en la tabla 5 y se aplican los coeficientes de calidad expuestos anteriormente para cada metodología, entonces se pueden obtener distintas soluciones de firme para cada método (Tabla 6).

Tabla 5. Espesores de suelo tipo para el camino de ejemplo en función de distintos valores de CBR

Método	CBR = 4	CBR = 10
AASHTO	2,41"	1,66"
Austroroads	358 mm	207 mm
TRL	434 mm	244 mm
Dal – Ré	370 mm	225 mm

Tabla 6. Espesores del firme para distintas soluciones, según varios métodos de diseño, para una explanación con CBR=4, y empleando como posibles materiales Mezclas bituminosas (MB), zahorra artificial (ZA), estabilización a 1" (E1), suelo – cemento (SC) o estabilizaciones con cal de la explanación (Scal).

Solución firme	Capa	Material	Método de diseño			
			AASHTO	Austroroads	TRL	Dal – Ré
1	Rodadura	MB	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
	Base	ZA	30 cm	29 cm	37 cm	30 cm
2	Rodadura	MB	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
	Base	SC	28 cm	29 cm	37 cm	30 cm
3	Base – Rod	E1	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
	Sub-base	Scal	42 cm	23 cm	34 cm	25 cm

Conclusiones

El estudio comparativo de los distintos métodos del diseño del firme en caminos rurales permite obtener como principales conclusiones:

- La necesidad de definir unas composiciones de tráfico en caminos que permitan obtener de manera fiable el número total de ejes equivalentes a lo largo de su vida útil, puesto que es un parámetro empleado por todos los métodos de diseño.
- El valor del módulo de resiliencia influye significativamente en el cálculo del número estructural del método AASHTO, que es el más avanzado. Sin embargo, debería estudiarse la relación entre este parámetro y el CBR para el caso de los materiales de construcción empleados en caminos rurales en España, puesto que no hay información en la bibliografía.
- Todos los métodos proporcionan soluciones de firme bastante parecidas cuando se emplean materiales de mejor calidad. Sin embargo, cuando los materiales utilizados son de peor calidad aparecen mayores diferencias, especialmente se disparan los espesores requeridos por el método AASHTO. Esto parece indicar que también sería necesario estudiar, para cada método, cuáles deberían ser los coeficientes de calidad aplicables a los materiales empleados en España habitualmente para la construcción de los firmes de los caminos rurales.

Bibliografía

- AASHTO, 1993. AASHTO guide for design of pavement structures. Washington DC: AASHTO.
- Austroroads, 2005. AP-T35/05. Technical Basis of Austroroads Pavement Design Charts for Light Traffic. Sidney: Austroroads.
- Dal – Ré, R., 2001. Caminos rurales: Proyecto y construcción. Madrid: MundiPrensa.
- Gallego, E., Moya, M., García, A.I., Ayuga, F., 2008. Valuation of low volume roads in Spain. Part 1: Methodology development. Biosystems Engineering 101 (1), 123-134.
- Heukelom, W., Klomp, A.J.G., 1962. Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction. Proceedings of the first International Conference on Structural Design of asphalt pavements. University of Michigan.
- HRB, 1962. The AASHO Road Test: Report nº 7. Washington: HRB (Highway Research Board of the NAS – NCR division of Engineering and Industrial Research).
- Ministerio de Fomento, 2000. Norma 3.1 IC. Trazado. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Fomento, 2003. Norma 6.1 IC. Secciones de firme. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Moya, M., Gallego, E., García, A.I., Ayuga, F., 2011. A proposed methodology for the management of low-volume roads in Spain. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 6 (3), 153-162.

C19 - Relación entre las diferentes presiones medidas en distintas partes de un silo de 18,5 m³ en ensayos de explosiones de almidón de maíz.

Aguado, P. J.¹; Tascón, A.², Ramírez, A.³, Ayuga, F.⁴,

¹ Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, Universidad de León, Av. Portugal 41 - 24071 León, pedro.aguado@unileon.es. ² Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática, Universidad de La Rioja, C. Madre de Dios 51- 26006, Logroño, alberto.tascon@unirioja.es. ³ E.U.I.T. Industrial, Ronda de Valencia, 3, 28012 – Madrid, alvaro.ramirez@upm.es. ⁴ E.T.S. Ingenieros Agrónomos, Avenida Complutense, s/n, 28040 – Madrid, francisco.ayuga@upm.es

Resumen

Los materiales agrícolas pulverulentos, como es el almidón de maíz, en cierta concentración y en suspensión puede provocar explosiones ante una fuente de ignición, que puede ser una chispa, el calentamiento de un mecanismo o parte de la estructura, o la combustión espontánea generada por diferentes procesos biológicos (fermentación, respiración, etc). Esto conduce a tomar medidas de prevención y protección frente a las explosiones en las estructuras donde se almacenan, como son los silos. Uno de los procedimientos más comunes de protección es la colocación de paneles de venteo en las paredes o en las cubiertas de los silos. Existen numerosos estudios sobre explosiones de polvo de productos agrícolas, pero pocos en los que se hayan usado silos a escala real para validar experimentalmente resultados, como es el caso del trabajo que se presenta. En este trabajo se midieron las presiones en el interior de un silo de 18,5 m³, con un panel de venteo de 0,52 m², en el que se realizaron explosiones con almidón de maíz. Para ello se colocaron sensores de presión en cuatro puntos de la pared del silo, junto al panel, en el fondo, en la primera virola y en la tercera (de un total de cuatro virolas). También se registró el instante de tiempo en el que se produjo la apertura del panel, para conocer como influía en el valor y distribución de las presiones. Como consecuencia, por primera vez se publica un estudio comparativo de la evolución de estas presiones a lo largo del desarrollo de la explosión en un silo de tamaño real, lo que ayudará a comprender el fenómeno y mejorar los procedimientos de protección.

Palabras clave: Presión reducida de explosión, Kst, presión máxima, explosión de polvo, presión estática de apertura.

Relationship between the measured pressures in different parts of an 18.5 m³ silo during maize starch explosions tests.

Abstract

Agricultural materials dusts, such as maize starch, can generate explosions when is divided in fine particles and suspended in the air. To the explosion occur it is necessary an ignition source which may be a spark, a heating of a mechanism or a part of the structure, or the spontaneous combustion generated by biological processes (fermentation, respiration, etc.). This leads to the need to protect against explosions the structures where these materials are stored, such as silos. One of the most common methods of protection is vent panels located on the walls and the roof. There are numerous studies on dust explosions in agricultural products, but few that have used full scale silos, such as the work presented in this paper. In this work pressures were measured within an 18.5 m³ silo with a 0.52 m² vent panel, wherein corn starch explosions were performed. For this, pressure sensors were placed at four points of the silo wall: near the panel, at the bottom, in the first ferrule and the third (of a total of four ferrules). It was also detected the moment of the panel opening; to know how was influencing the pressures distribution and values. As a consequence, this is the first time that a comparative study of the evolution of these pressures throughout the development of the explosion in a full scale silo is published, which will help to understand the phenomenon and improve the security procedures.

Keywords: Reduced explosion pressure, Kst, maximum pressure, dust explosion, static activation overpressure.

Introducción

Cualquier combustible sólido puede causar una explosión de polvo bajo ciertas condiciones. Esto plantea un riesgo para la seguridad en muchas industrias, como las de los sectores de alimentos, química, farmacéutica, energía y metales. Eckhoff (2003) y Abbasi & Abbasi (2007) recogieron y analizaron varios casos significantes de explosiones de polvo, que muestran la amplia gama de materiales que pueden causar estos accidentes, y sus graves consecuencias en términos económicos y de pérdidas de vidas humanas. Sin embargo, parece que no hay estadísticas completas y fiables, debido principalmente a los casos menos graves a menudo no están documentados. Uno de los estudios más recientes se presentó por el Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) (Blair 2007), en el que se identificaron cerca de 300 incidentes en la industria de los EE.UU. entre 1980 y 2005, con exclusión de la minería del carbón y grandes silos de cereales de almacenamiento. Estos datos revelaron que el número anual de accidentes aumentó durante el período estudiado. Algunos incidentes significativos en China en el período 1981-2011 se han presentado recientemente (Xing-Qing Yan and Jian-Liang Yu, 2012); en este caso el número de casos aumentó también a lo largo de la última década.

El venteo de la explosión es un método ampliamente utilizado para reducir las sobrepresiones producidas en el interior de un recipiente durante una explosión accidental. Un aspecto clave en el diseño de los sistemas de venteo es el tamaño del área de ventilación necesario, a fin de que las presiones no exceden el valor máximo admisible para el recipiente que se está diseñando.

Para el diseño de áreas de venteo se pueden usar las normas europea EN 14491 (2012) y americana NFPA 68 (2013). Ambas normas utilizan fórmulas de cálculo empíricas basadas en datos experimentales. Aunque las normas EN 14491 y NFPA 68 son ampliamente utilizadas en todo el mundo, en ciertas situaciones son algo contradictorias (Eckhoff *et al.*, 1988).

El caso específico de la protección de silos por áreas de venteo no es simple y, a menudo surgen complicaciones. Por un lado, los silos de acero, utilizados ampliamente en la agricultura y la industria alimentaria, a menudo tienen una baja resistencia en la parte superior y en el techo, lo que conduce a que las áreas de ventilación, calculadas de acuerdo con las normas mencionadas, sean tan grandes que no son factibles. Por otro lado, el coste de la protección puede ser muy alto, lo que representa una gran limitación (Tascón *et al.*, 2009). Hay algunas evidencias sugieren que con los métodos de cálculo actuales las áreas de venteo se están sobredimensionando (Tascón *et al.*, 2011).

Aunque se han llevado a cabo un gran número de trabajos de investigación sobre venteo de explosiones de polvo, sobre todo durante los años 70 y los años 80 del siglo XX, sigue siendo un tema complejo y controvertido (Eckhoff, 2005). El conocimiento de los diversos fenómenos que ocurren en una explosión de polvo, como son la evolución de la presiones durante el venteo, la generación y características de las nubes de polvo y sobre propagación de la llama, todavía necesitan ser investigadas.

Existen muy pocos trabajo realizados con instalaciones experimentales a gran escala para investigar el venteo de explosiones de polvo. Eckhoff y Fuhre (1984) utilizaron un silo de 500 m³, con una relación altura/diámetro (L/D) de 4 . Posteriormente Eckhoff *et*

al. (1988) utilizaron un silo de 236 m³ con una relación L / D de 6 . Bartknecht (1989) llevó a cabo un extenso programa de ensayos en recipientes cúbicos de 2,4, 10, 25 y 250 m³ y dos silos de 20 m³ y L / D = 6,25 dispuestas horizontalmente y verticalmente. Siwek (1989) amplió el trabajo previo utilizando nubes de polvo generadas por un sistema industrial de transporte neumático en recipientes de 10, 25 y 250 m³. La Factory Mutual Research Corporation (Tamanini, F. & Ural, 1992) llevó a cabo varios estudios relacionados con las explosiones de polvo, incluyendo ensayos en un volumen casi cúbico de 63.7 m³. Deng *et al.* (1993) presentaron un trabajo de un silo 95 m³. También se han desarrollado ensayos en silos rectangulares con volúmenes de 45 y 85 m³ (Hattwig y Hensel, 1993). Hauert *et al.* (1996) instrumentaron un silo de 12 m³ para determinar las propiedades de las nubes de polvo y las presiones generadas por la explosión. Höchst y Leuckel (1998) utilizaron un silo de 50 m³ y L / D = 4 para estudiar rejillas de ventilación con inercia.

Todos estos trabajos aportan datos relevantes, pero se necesitaba relacionar las presiones a las que abre el panel de venteo con las que se producen en las distintas pares del recipiente dependiendo de su relación L/D, objeto del presente trabajo. De esta forma se podrá realizar un diseño más ajustado de los dispositivos de venteo si superar las presiones reducidas consideradas en el diseño (P_{red})

Material y Métodos

Para la realización de los ensayos se ha utilizado una instalación experimental desarrollada por los autores, consistente en un silo de sección circular, de 1.9 m de diámetro, colocado horizontalmente para su fácil manipulación. El silo tiene cuatro módulos de 1,6 m de longitud para poder estudiar diferentes relaciones longitud/diámetro (figura 1). El depósito se construyó en la empresa ADIX Ingeniería S.L., donde también se realizaron los ensayos. Uno de los extremos está cerrado y en el otro se coloca el panel de venteo. En este artículo se presenta una de las repeticiones de uno de los ensayos, puesto que lo que se pretende es hacer un estudio de la evaluación de las presiones, que se observaría peor utilizando valores medios. Dicho ensayo fue realizado con los cuatro módulos (L/D = 3,4) y un panel de venteo de 0,52 m². En la segunda repetición del ensayo se obtuvieron valores similares.

El sistema de inyección de polvo es similar al utilizado en el silo experimental de 50 m³ por Höchst (1998). Este sistema consiste en la introducción del polvo en botellas presurizadas a 20 bares, una por módulo, inyectándolo en el silo mediante boquillas que contribuyen a la formación de la nube de polvo. La inyección de polvo es similar a la utilizada en la prueba normalizada explosión en el recipiente de 1 m³ (UNE-EN 14034-1, 2005) u otros diseños. La salida del polvo se controla mediante electroválvulas.

La ignición se realizó colocando una cerilla química de 5 kJ en el centro de la primera virola. Tanto las electroválvulas, como la ignición de la cerilla se controlan por ordenador, estableciendo un retardo (diferencia de tiempo entre la apertura de válvulas y la ignición) de 700 ms.

La instrumentación consta de cuatro sensores de presión piezoresistivos, modelo 4045A2 de Kistler, con un rango de presiones entre 0 y 2 bar. Los valores, mediante un sistema de adquisición de datos y el correspondiente software, se almacenan en un

ordenador. Los sensores de presión se colocaron en la tapa del fondo, en la virola primera, en la tercera y junto al panel de venteo (figura 2).



Figura 1. Silo experimental

Además, la apertura del panel de venteo se registró mediante la colocación de un cable sujeto al panel y al silo, de forma que al abrirse el panel el cable se desconectaba, registrándose la pérdida de señal en el ordenador (figura 3).



Figura2: Disposición de los sensores de presión. (1) sensor en la tapa del fondo, (2) sensor en el módulo primero, (3) sensor en el módulo tercero y (4) sensor junto al panel.



Figura3 : Cable para el control de la apertura del panel.

El material utilizado para generar el polvo es almidón de maíz, el cual ha sido analizado en el laboratorio obteniendo los siguientes resultados:

- Humedad media (obtenida en estufa a 105°C): 11,5 %
- Tamaño de las partículas (obtenido por difracción laser): $d(0.1) = 9,6 \mu\text{m}$, $d(0.5) = 15,7 \mu\text{m}$ y $d(0.9) = 25,8 \mu\text{m}$
- Presión máxima de explosión (P_{max}) (EN 14034-1:2004) : 8,2 bar g
- K_{max} (EN 14034-2:2006) : 174 bar·m/s

Resultados y Discusión

En la figura 4 se pueden observar la evolución de las presiones durante el ensayo. Las presiones evolucionan con una presión similar hasta que se produce la apertura del panel, momento en el que desciende la presión junto al mismo, observándose una perturbación mucho menor en el resto de sensores. El descenso de presión fue de 24,82 mbar g. Una vez abierto, la presión en todas las partes del silo se equilibra, solapándose de nuevo las curvas de presión de todos los sensores. Por tanto, se ha comprobado que cuando se produce un descenso en las presiones en el panel es cuando se abre el mismo, pudiéndose utilizar dichas discontinuidades en las gráficas para saber cuándo se inicia el venteo.

En la tabla 1 se pueden observar los valores máximos de las presiones y los correspondientes al momento de la apertura del panel. Las presiones máximas alcanzadas se corresponden con la P_{red} (presión reducida), que sería la que no debe superar el valor máximo considerado para el depósito que se está calculando. Las máximas presiones, como es lógico, se alcanzan en el extremo contrario al panel, donde se colocó la cerilla y, por tanto, se inició la explosión.

En el momento de abrirse el panel las presiones en todos los paneles son similares, a pesar de producirse la ignición en un extremo del silo. Tras la apertura desciende la del panel hasta un valor de 197,18 mbar g. Esta presión sufre luego un incremento del 339,74 %, superior al resto, pero aun así, por el efecto del alivio de presión provocado por el panel abierto la presión máxima finalmente es 45,86 mbar g inferior a la mayor registrada en la primera virola.

Probablemente para esbelteces inferiores a la considerada en el presente ensayo la diferencias entre la presiones de los distintos puntos de silo sean inferiores. Los valores

que se puedan obtener con el silo experimental desarrollado serán de gran interés pues apenas existen datos a escala real donde se estudie la influencia de la esbeltez conjuntamente con la presiones en el panel de venteo y otros puntos. Por otra parte, son datos esenciales ya que las normas que habitualmente se usan para el diseño de áreas de venteo (EN 14491, 2012 y NFPA 68, 2013) tiene correcciones basada en la relación L/D, para las que sería necesario contar con mayores resultados experimentales.

Además, se cuenta con datos de ensayos a escala real donde se ve la relación exacta entre la presión de apertura y la P_{red} . Conocer con precisión la presión a la que abre el panel es interesante porque no suelen romper a la misma presión que figura en los datos del fabricante, bien porque nunca hay dos ensayos iguales o porque se ha hecho con ensayos que no son de explosión, por ejemplo de aire comprimido.

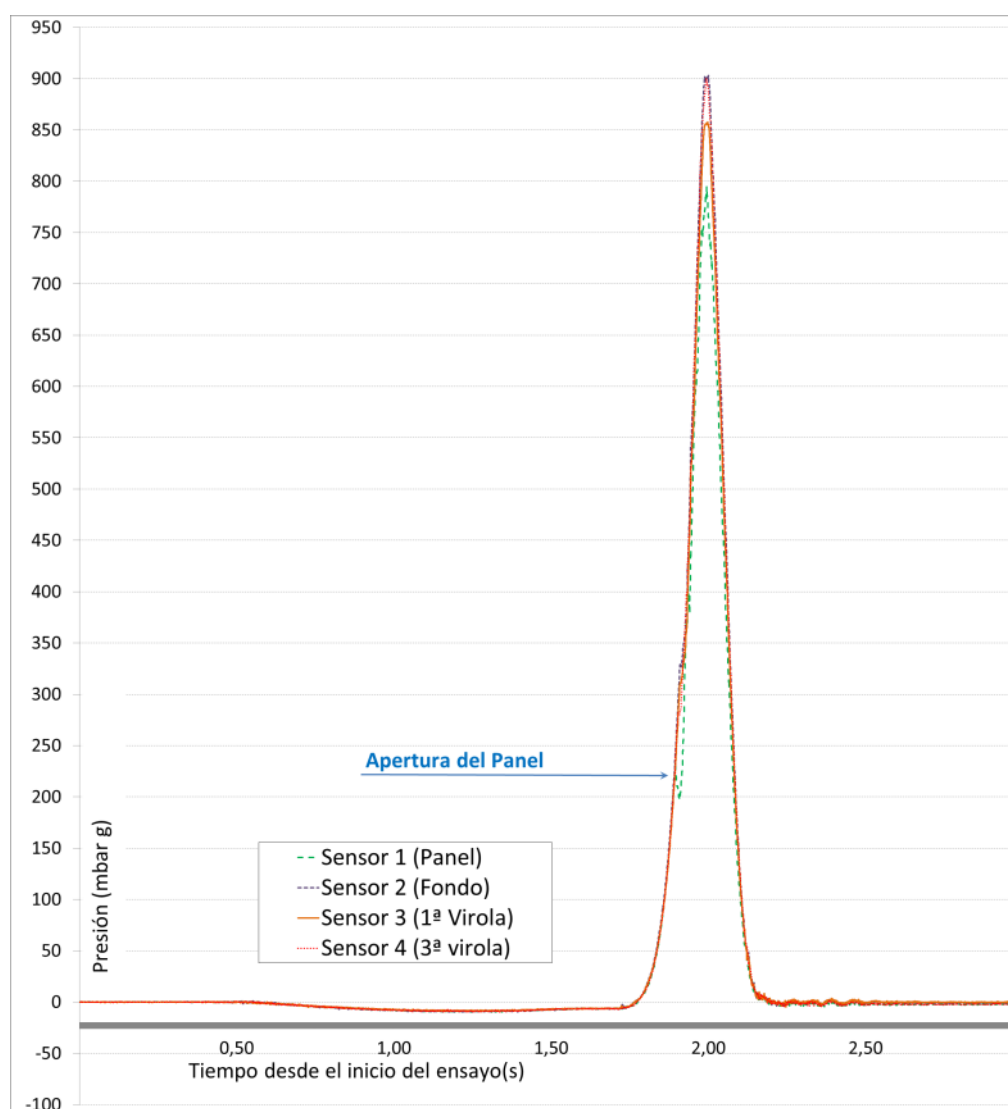


Figura 4 : Evolución de las presiones a lo largo del ensayo

Tabla 1. Valores máximos y en la apertura de las presiones

	Máxima presión detectada (P_{red}) (mbar g)	Presión de apertura del panel (mbar g)	Presión mínima tras la apertura (mbar g)	Incremento de presión máximo tras la apertura (%)
Sensor del Fondo	910,05	235,43	235,43	286,55%
Sensor Virola 1	912,94	223,43	223,43	308,60%
Sensor Virola 3	804,72	222,01	222,01	262,47%
Sensor Panel	867,08	222	197,18	339,74%

Conclusiones

Los autores han desarrollado un silo de ensayo que permite conocer la evolución de las presiones durante una explosión de polvo y conocer el valor exacto de la presión de apertura del sistema de venteo. Por tanto, permite relacionar la presión de apertura (P_{STAT}) con la presión reducida (P_{red}) y hacerlo para diferentes relaciones longitud diámetro. Los datos obtenidos son de máximo interés pues apenas existen ensayos a escala real y no presentan una comparación de presiones tan completa. Además, cabe resaltar que los métodos actuales de cálculo, incluidos en las normas anteriormente citadas, se basan en ensayos experimentales, escasos a escala real, como se ha comentado. Y por tanto es esencial contar con más datos para el ajuste de los mismos.

Se ha podido observar que en el momento de la apertura del panel de venteo se produce un descenso de presión junto al mismo, apreciándose mucho menos la perturbación producida en el resto de partes del silo. Tras este efecto, las presiones tienden a equilibrarse en todo el silo, pero por el efecto de alivio del venteo la presión máxima junto al venteo acaba siendo considerablemente inferior al resto.

Hasta la apertura del panel de venteo, a pesar de iniciarse la ignición en un extremo del silo, las presiones son similares, tras la apertura se separan, siendo durante un tiempo las del panel inferiores para luego equilibrarse con las del resto hasta que se acercan a los valores máximos, en que vuelven a separarse.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad, dentro del Programa Nacional de Proyectos de Investigación Fundamental (Proyectos AGL2012-39994-C03-01 y AGL2012-39994-C03-02). Asimismo, se quiere agradecer la colaboración de la empresa ADIX Ingeniería S.L.

Bibliografía

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A., 2007. Dust explosions - Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Materials*, 140, 7-44.
- Bartknecht W., 1989. Dust explosions: Course, Prevention, Protection. Springer Verlag.
- BIA Report 13/97. Combustion and explosion characteristics of dusts. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, Germany, ISBN 3-88383-469-6
- Blair, A. S., 2007. Dust explosion incidents and regulations in the United States. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20, 523-529.
- Deng, X., Zang, T., Dang J. y Xie, L. , 1993. Maize dust explosion in the 94.4 m³ experimental silo for venting of deflagrations in low strength silos. *Proc. 5th Int. Coll. Dust Explosions*, Pultusk, Warsaw, Poland, 19-22 April 1993, 403-411.
- Eckhoff, R. K. , 2005. Current status and expected future trends in dust explosion research. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18 (2005) 225–237.
- Eckhoff R. K., Alfert F., Fuhre K., Pedersen G. H., 1988. Maize starch explosions in a 236 m³ experimental silo with vents in the silo wall. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 1, 16-24.
- Eckhoff R. K., Fuhre K., 1984. Dust explosion experiments in a vented 500 m³ silo cell. *J. Occup. Accid*, Vol. 6, 229-240.
- Eckhoff, R. K., 2003. *Dust Explosions in the Process Industries* (3rd edition). Boston, MA: Gulf Professional Publishing/Elsevier.
- EN 14491 (2012). Dust explosion venting protective systems. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- Hattwig, M. y Hensel, W. , 1993. Applicability of the new VDI-guideline 3673 to silos of rectangular geometry. *Proc. 5th Int. Coll. Dust Explosions*, Pultusk, Warsaw, Poland 19-22 April 1993, 71-81.
- Hauert F., Vogl A., Radant, S. , 1996. Dust cloud characterization and its influence on the pressure-time-history in silos. *Process Saf. Prog.*, Vol.15 (3), 178-184.
- Höchst S., Leuckel W. , 1998. On the effect of venting large vessels with mass inert panels. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 11 (2), 89-97.
- NFPA 68 (2013). Standard on explosion protection by deflagration venting. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Siwek R., 1989. Drukentlastung von Staubexplosionen beim pneumatischen Befüllen von Behältern. VDI-Berichte 701, Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf.
- Tamanini, F. & Ural, E.A., 1992. FMRC studies of parameters affecting the propagation of dust explosions. *Powder Technology* 71, 135-151.
- Tascón, A., Aguado, P. J., & Ramírez, A. , 2009. Dust explosion venting in silos: A comparison of standards NFPA 68 and EN 14491. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, 204-209.
- Tascón, A., Ruiz, Á., & Aguado, P. J. , 2011. Dust explosions in vented silos: Simulations and comparisons with current standards. *Powder Technology*, 208, 714-724.
- Xing-Qing Yan and Jian-Liang Yu, 2012. Dust Explosion Incidents in China. *Process Safety Progress* (Vol.31, No.2) 187-189.

C20 - Análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarbillado simple y doble en madera estructural

J. R. Villar¹, J. Crespo², J. A. Lorenzana³, M. Guaita⁴

¹Grupo de Investigación Forestal, Dpto. Ing^a Medio Agronómico y Forestal, C. Universitario de Plasencia, Universidad de Extremadura. Avda. Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, Cáceres, jrvillar@unex.es

²Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España, jorge.crespo@usc.es

³Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España, jlorenzana@coag.es

⁴Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, C/ Benigno Ledo s/n, 27002 Lugo, España, m.guaita@usc.es

Resumen

Las uniones tradicionales por ensamble embarbillado pueden usarse en madera para conectar elementos estructurales bajo cargas de compresión que concurren en ángulo, entre otros para conectar el cordón superior y el tirante de cerchas tradicionales, las cuales son ampliamente usadas en cubiertas de naves y construcciones agrícolas. Con objeto de mejorar el conocimiento de estos ensambles y optimizar la definición geométrica de los mismos, se llevaron a cabo ensayos experimentales a tamaño real y se desarrollaron modelos numéricos de dos tipos de uniones por ensamble embarbillado, simple (trasero o de talón) y doble, que constituyen dos de las configuraciones más empleadas. Se ensayaron 9 uniones par-tirante (6 simples y 3 dobles) realizadas en madera laminada GL24h de píceas (*Picea abies*). Las barras y uniones fueron definidas con el Código Técnico de la Edificación Español (CTE-SE-M) empleando solicitaciones extraídas de estructuras reales. El tirante, constituido por una pieza de longitud 1400 mm y escuadría 120x240 mm, se colocó horizontalmente y se fijó en el extremo opuesto a la unión. El par, de 950x120x200 mm, se dispuso a 30 ° y la carga se aplicó según su eje por medio de un actuador neumático. Las cargas de rotura alcanzadas estuvieron entre los 130 y los 180 kN, superando entre un 15 y 120% lo estimado por cálculo según el CTE-SE-M. Se apreció que el fallo de la unión se produjo en todos los casos al superarse la resistencia a esfuerzo cortante horizontalmente en el cogote, en el caso del embarbillado doble la rotura se produjo desde el rebaje más profundo (rebaje trasero). Se realizaron lecturas de deformación y desplazamiento para validar los modelos generados por Elementos Finitos. El comportamiento observado en los ensayos fue bien captado por estos modelos. De los resultados de esta investigación se derivan sugerencias prácticas para el diseño de estas uniones.

Palabras clave: uniones carpinteras, unión en pico de pájaro, método de elementos finitos, test de carga-desplazamiento.

Experimental and finite element analysis of the stress state at single and double step front notched traditional joint in timber structures

Abstract

Traditional diagonal front notched timber joints can be used in timber structures to connect two structural parts under compression loads that concur at a somehow diagonal angle. For example, they can be used to connect the top-chord and the tie-beam of traditional timber trusses, which have been widely in use as roof in hangar and agricultural service constructions. In order to improve the knowledge of these assemblies and to optimize their geometrical definition,

experimental tests in full scale and numerical models were carried out for two different traditional diagonal front notched timber joints single (heel, reverse configuration) and double-step joint, some of the most frequently configurations. Nine joints (6 single and 3 double) made of spruce (*Picea abies*) glulam GL24h were tested. Rods and joints were defined with the Spanish Technical Building Code (CTE-SE-M) using stresses taken from real structures. The tie-beam, consisting of a piece of length 1400 mm and cross section dimension of 120x240 mm was placed horizontally and fixed at the opposite end to the assembly. The rafter, 950x120x200 mm, was placed at 30° and the load was applied along its axis by a pneumatic actuator. The failure loads were reached between 130 and 180 kN, thus beating between 15 and 120% the estimated values obtained according to the CTE-SE-M. It was observed that the joint failure occurred in all cases to overcome the resistance to shear stress horizontally in the tie end, in the case of double-step joint rupture came from the deepest notch (rear notch). Deformation and displacement readings were performed to validate the models generated by finite elements. The behaviour observed in the experiments was well captured by models. From these research results, practical suggestions for design are derived.

Keywords: carpentry connections, birdsmouth joint, finite element method, load-carrying tests

Introducción

La madera es considerada actualmente un excelente material de construcción tanto por sus cualidades técnicas como por sus cualidades medioambientales. Su capacidad de almacenamiento de carbono, su alta reciclabilidad, la renovabilidad de sus materias primas y el menor uso de combustibles fósiles en su producción frente a otros materiales la hacen especialmente interesante. Al mismo tiempo la limitación de tamaños, por fendas, nudos, etc, ha sido superada mediante la laminación de la misma.

En construcción con madera la resolución de una gran variedad de cubiertas de edificaciones es y ha sido ampliamente resuelta mediante cerchas de madera, desde aquellas de pequeña luz ejecutadas con madera aserrada y pocos miembros, hasta grandes luces con mayor número de elementos y madera laminada. Es en las cerchas de madera de pocos miembros donde se suelen emplear uniones tradicionales, también llamadas carpinteras. En los últimos años la fabricación asistida por ordenador ha puesto en auge el empleo de estas uniones al reducirse los costos y aumentar la precisión de su ejecución, incrementando su uso.

Se denominan ensambles aquellas uniones entre miembros que forman un ángulo entre sí, y en particular embarbillados a la disposición en la cual por medio de rebajes en las piezas se genera un cogote o barbilla que permite transmitir los esfuerzos a través de compresiones localizadas y tensiones tangenciales así como de rozamiento entre las caras en contacto. En las cerchas de cubierta resueltas de modo tradicional encontramos uniones embarbilladas en todos sus encuentros, pero es el encuentro partirante el que resulta de especial interés ya que constituye un punto crítico de transmisión de esfuerzos y permite conocer el comportamiento de este tipo de uniones.

Este trabajo se centra en dos de las disposiciones más empleadas, el embarbillado simple trasero, también llamado de talón, y el embarbillado doble, el primero permite que el tirante no sobresalga de la línea exterior del pilar o muro en el que se apoya la cercha, mientras que el segundo soluciona la unión ante la necesidad de transmitir esfuerzos más elevados que los que permite una unión simple.

Comportamiento de la madera estructural en uniones tradicionales

La estructura de la madera es compleja, sus cualidades y limitaciones derivan de la naturaleza fibrosa de la misma. Este es el origen de sus propiedades anisotrópicas, siendo un factor fundamental en el comportamiento mecánico la dirección considerada. Si lo asimilamos a un comportamiento ortótropo con propiedades diferentes en tres direcciones ortogonales entre sí: axial, radial y tangencial, la madera presenta buenas propiedades resistentes en la dirección axial o paralela a la fibra y pequeños valores en las otras direcciones. La madera tiene muy elevada resistencia a la flexión, la relación resistencia/peso es 1,3 veces la del acero y 10 veces la del hormigón, en cambio tiene bajo módulo de elasticidad, y poca resistencia a compresión ó tracción perpendicular a la dirección de la fibra, lo que supone una característica muy particular frente a otros materiales. Todas estas características afectan de modo particular a las uniones entre piezas.

Si bien existen numerosos trabajos que estudian uniones mecánicas formadas por herrajes y clavijas, no ocurre lo mismo para uniones tradicionales o carpinteras y en especial vinculando estudio experimental y simulación numérica. Si además nos centramos en ensambles embarbillados el número de trabajos es limitado (Parisi y Piazza, 2002; Villar et al., 2007; Villar et al., 2008), y en otros casos en combinación con disposiciones en caja y espiga (Palma et al., 2010; Koch et al., 2013; Feio et al., 2014). En el caso de uniones por embarbillado doble sólo podemos referenciar el trabajo de simulación numérica de Parisi y Cordié (2010) pero que carece de componente experimental. Es por ello que se ha considerado de interés el estudio de este tipo de ensambles desde un punto de vista experimental pero con el objetivo de generar un modelo numérico válido que permita el análisis del estado tensional de la unión ante variaciones de diversos parámetros.

Definición geométrica y cálculo del ensamble

El cálculo convencional de estas uniones contempla las siguientes simplificaciones:

- Las fuerzas en las caras del ensamble se definen perpendicularmente a las secciones sobre las que actúan.
- Actúa una compresión oblicua suponiendo que la orientación de la fibra es paralela a los ejes de las piezas.
- Se desprecia el rozamiento por contacto entre las piezas, y por tanto no contribuye a la transmisión de cargas.
- La distribución de las fuerzas de sección sobre las caras en contacto atiende a diversos supuestos de reparto del esfuerzo sobre las superficies o secciones.

El Código Técnico de la Edificación Español, Seguridad Estructural - Estructuras de Madera (en adelante CTE SE-M), que regula el cálculo de estas estructuras en España recoge los criterios de cálculo de ensambles tanto simples como dobles, así como las limitaciones de geometría, rebaje (t) y longitud de cogote (a), que han de cumplir estas uniones para su estabilidad estructural, (figura 1). Estos criterios se exponen a continuación (tomado del CTE SE-M):

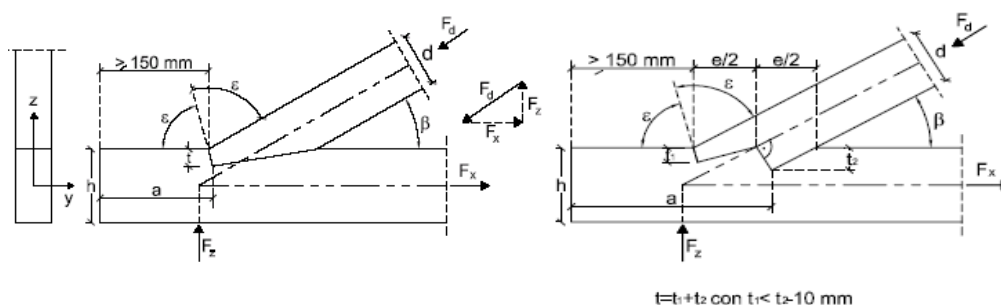


Figura 1: Ensamble en barbilla, simple y doble, tomado del CTE SE-M

Los ensambles en barbilla deben cumplir las siguientes condiciones de longitud del cogote (a) Ecuación (1) y profundidad de la barbilla (t) Ecuación (2):

$$a \geq \frac{F_d \cdot \cos \beta}{b \cdot f_{v,d}} \quad (1)$$

$$t \geq \frac{F_d \cdot \cos \beta}{b \cdot f_{c, \alpha, d}} \quad (2)$$

siendo:

- b Anchura de la pieza.
- β Ángulo entre la fuerza F_d y la dirección de las fibras en el tirante.
- $f_{v,d}$ Valor de cálculo de la resistencia a cortante.
- $f_{c, \alpha, d}$ Valor de cálculo de la resistencia a compresión oblicua.

Además la profundidad del rebaje se limita para evitar debilitar en exceso el tirante, para embarbillados simples: $t \leq h/4$ para $\beta \leq 50^\circ$ y $t \leq h/6$ para $\beta \geq 60^\circ$, interpolando para valores intermedios; y para embarbillados dobles $t_1 \leq h/6$ y $t_2 \leq h/4$.

Material y Métodos

Este trabajo consta de una parte experimental y otra de simulación numérica. Por medio de la primera se trata de observar el comportamiento de los embarbillados en piezas a tamaño real y bajo cargas similares a las producidas en disposiciones estructurales en edificaciones agroindustriales, ver las formas de rotura y al mismo tiempo extraer lecturas de deformación y desplazamiento de tal forma que en la fase de simulación numérica se validen los modelos generados por el Método de Elementos Finitos (MEF), lo cual permitirá disponer de una herramienta para estudiar distintas geometrías, ángulos de encuentro, materiales, etc.

Estudios experimentales

Se ensayaron 9 uniones par-tirante (6 simples de talón y 3 dobles) realizadas en madera laminada GL24h de píceas (*Picea abies* L. Karst).

El tirante, constituido por una pieza de longitud 1400 mm y escuadría 120x240 mm, se colocó horizontalmente y se fijó en el extremo opuesto a la unión. El par, de 950x120x200 mm, se dispuso a 30° y la carga se aplicó según su eje por medio de un

actuador neumático (figura 2). Las escuadrías surgen de las exigencias dimensionales en situaciones estructurales reales, (se consideró clase de servicio 1, estructura bajo cubierta y cerrada y duración corta de la carga), es de destacar este aspecto pues en los ensayos experimentales recogidos en otros trabajos referenciados anteriormente se emplean escuadrías más pequeñas, manejables y fáciles de ensayar, pero que no reflejan la realidad dimensional empleada en las construcciones, como contrapartida esto limitó el número total de piezas que pudieron ser testadas. También resulta destacable, frente a lo que ocurre en otros trabajos, el modo de fijación de las piezas, tal que el tirante se ancla a tracción para evitar que un tope en su extremo frontal interfiera en el estado tensional de la zona del cogote.

La definición geométrica de rebajes y longitudes de cogote en las piezas se realizó según lo indicado en el CTE SE-M, para lo que se consideraron las características resistentes recogidas en la norma UNE EN14080 (2013) para la clase resistente GL24h.



Figura 2: Disposición del ensayo y detalle de ensamble simple trasero o de talón (derecha arriba) y doble.

Para el embarbillado doble, la definición geométrica, con un ángulo de encuentro de 30° , implica un rebaje trasero (t_2) de 86 mm, si se ha obtenido un axil en el par de 122 kN en el cálculo estructural, el rebaje frontal ha de ser de 40 mm. Este axil implica una longitud de cogote (a) de 350 mm, pero teniendo en cuenta la limitación a 150 mm de la longitud libre mínima en la parte superior del tirante tras el rebaje frontal (figura 1), esta longitud (a) pasa a ser de 400 mm lo que conlleva un incremento de resistencia por rasante hasta los 139,67 kN. Por tanto los tres embarbillados dobles ensayados tendrán una resistencia teórica de 122 kN para su rotura por compresión oblicua pero de 139,67 kN para su rotura por cortante.

Para el caso del embarbillado simple trasero el cálculo se realiza de modo similar al anterior, si bien este embarbillado sólo tiene sentido si se prescinde del cogote saliente, por lo que se ha mantenido la escuadría y geometría pero se ha eliminado dicho cogote y el rebaje asociado (figura 2), con lo que las resistencias teóricas esperadas son de 62 kN para su rotura por compresión oblicua y de 87,30 kN para su rotura por rasante en el cogote.

En este caso, de embarbillado trasero, se han ensayado 6 uniones, tres de ellas sin holgura en el apoyo del pico que se genera en el par sobre el tirante y otras tres con una holgura de 3 mm.

Para la toma de datos se han dispuesto extensómetros y bandas extensométricas, los primeros se han empleado para recoger la lectura del desplazamiento horizontal relativo entre el par y el tirante y los segundos para recoger las deformaciones del material en determinados puntos de interés, de tal forma que se pueda realizar la comparación con los resultados de los modelos numéricos.

Para cada ensayo se determinó la humedad de las piezas ensayadas arrojando unos valores todas ellas de cercanas al 12 % lo que se corresponde con la clase de servicio 1.

Modelos numéricos

Cada una de las uniones experimentales del apartado anterior, con su geometría y cargas aplicadas se modelizaron por el método de elementos finitos (MEF) empleando el programa ANSYS, para así realizar la simulación numérica del comportamiento tensional de las mismas.

Se trata de un análisis 2D en tensión plana considerando un espesor igual al ancho de la sección, empleando elementos finitos pertenecientes a la biblioteca de elementos del programa para trabajar en tensión plana. Se ha buscado en todo momento una malla lo más uniforme posible y con mayor densidad en aquellas zonas de mayor gradiente de tensiones, para así aumentar la precisión del modelo en estas zonas.

Se consideró ortotropía elástica bidimensional para los elementos, esto es así porque en el cálculo de estructuras de madera se toman unos valores de las propiedades físicas en la dirección perpendicular a la fibra que engloban las direcciones radial y tangencial, pues las diferencias entre ambas son mucho menores que en relación a las longitudinales y que en muchos casos no es posible distinguir estas dos direcciones en piezas empleadas en construcción con madera.

El modelo incluye la simulación del contacto entre superficies, el coeficiente de rozamiento " μ " entre caras de las piezas en contacto se ha tomado como 0,467, valor obtenido por Crespo et al., (2011) para rozamiento estático en madera laminada de *picea abies* para cortes perpendiculares a la fibra.

Para las características elásticas y resistentes del material directamente implicadas en los resultados de los ensayos se analizaron probetas extraídas de las piezas ensayadas, realizándose mediciones mediante ultrasonidos de los valores de los módulos de Young, ensayos de resistencia a cortante y de resistencia a tracción perpendicular. Todos ellos arrojaron valores similares a los recogidos en la bibliografía para este material, Schmidt y Kaliske, (2009), empleados en simulación numérica.

Resultados y Discusión

Resultados experimentales

En la figura 3 se muestra claramente la forma de rotura de los ensambles, todos ellos por superarse la tensión rasante en el cogote, esta rotura se produce de forma paralela a la fibra, longitudinalmente y de una manera repentina, cuasi-frágil, de acuerdo con las

consideraciones de que la madera puede considerarse un material semi-frágil (Smith et al., 2003), por lo menos para este tipo de roturas.



Figura 3: Ejemplo de roturas en el embarbillado doble (izqda.) y trasero (dcha.).

En la Tabla1 se aprecian las cargas a las que se ha producido la rotura de los distintos ensambles, todos ellos por rasante en el cogote, así como su relación con las cargas teóricas. Se aprecia que el margen de resistencia se incrementa mucho más, con respecto al cálculo teórico, en el caso del embarbillado simple trasero que en el doble, esto presuntamente es debido a que el cálculo teórico considera un reparto uniforme de la tensión rasante en toda la longitud de cortante hasta una longitud máxima de $8t$, pero en la realidad (como posteriormente muestra el estado tensional en la simulación numérica) la tensión es mucho mayor en el origen de la sección sometida a rasante, con lo que las zonas más alejadas colaboran en menor medida a la resistencia en la situación real de ensayo, en el embarbillado doble se tiene gran longitud a cortante y esta longitud se considera en el cálculo teórico como colaborante de manera uniforme, lo que incrementa el resultado teórico de resistencia, sin embargo en el ensayo, una vez superada la resistencia a cortante en el inicio de la sección, se origina una grieta que avanza y produce el fallo. Un mayor número de casos, con diversas variaciones de longitudes de cogote y profundidades de rebaje pueden ayudar en esta discusión, aspecto que será objeto de análisis en posteriores fases de este estudio con el modelo de elementos finitos generado y validado y con el análisis de la mecánica de fractura y origen de grieta.

Tabla 1. Cargas a las que se produce la rotura en kN aplicados en el par.

	Embarbillado doble			De talón con holgura			De talón sin holgura		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Teórica*	139,7 – 122,0			87,3 – 62,0			87,3 – 62,0		
Experimental	134,2	168,5	177,3	123,5	138,4	150,3	157,8	128,5	105,0
Media Exp.	160,0			137,4			130,4		
Incremento* sobre teórica	+15%	+31%		+57%	+122%		+49%	+110%	

* El primer valor representa la resistencia por rasante en el cogote y el segundo por compresión oblicua.

Debe señalarse que, en el caso del embarbillado doble, la rotura se produce por el rasante generado desde el embarbillado trasero, esto indica que resulta razonable la definición de longitud (a) de acuerdo con el CTE SE-M (figura 1), pero también ha de notarse que la definición geométrica recogida en la figura impide un mayor reparto de cargas entre ambos rebajes ya que la profundidad del rebaje trasero viene obligada por geometría al trazarse desde el eje de la sección incidente.

No se han apreciado en ninguno de los casos fallos por compresión oblicua a las fibras, únicamente en uno de los casos una plastificación puntual del material en una pequeña zona pero que no origina el colapso de la unión, por tanto el valor recogido en la tabla 1 se corresponde con la relación de carga alcanzada respecto a la resistencia teórica por compresión oblicua.

En el caso del embarbillado trasero también se quería comprobar la aparición de una grieta de tracción perpendicular a las fibras en el pico del par que apoya sobre el tirante, este fallo no ha aparecido al no superarse la resistencia de tracción perpendicular como también ha demostrado la modelización por elementos finitos pero los valores de tensión alcanzados resultan peligrosos. Un pequeño giro de la unión podría inducir la grieta por lo que sigue siendo recomendable la presencia de holgura.

Tanto en la evolución del desplazamiento relativo par-tirante, como en los resultados de las deformaciones captadas por las bandas extensométricas se ha apreciado un comportamiento lineal, en ocasiones tras un periodo de ajuste inicial, propio de un tramo de deformación elástica lineal hasta alcanzar un punto en el que se produce una rotura cuasi-frágil, repentina por cortante. Al no existir fallo por compresión oblicua que origine plastificación, el fallo es repentino y no se ha apreciado una fase progresiva plástica.

La representación y análisis de los datos y gráficas obtenidas se realiza en el siguiente apartado conjuntamente con los resultados de la simulación numérica y su validación.

Resultados simulación numérica

La validación de los modelos numéricos se realiza con los resultados experimentales, para ello se compara el comportamiento del modelo con las deformaciones experimentales captadas por las bandas extensométricas, especialmente aquellas situadas en zonas alejadas de singularidades que puedan distorsionar los resultados, pero también en la cara principal de transmisión de esfuerzos para verificar el correcto funcionamiento del contacto en el modelo numérico. Se aprecia que los resultados del

modelo numérico se encuentran dentro de las curvas experimentales siguiendo un trazado lineal hasta el punto de rotura (figura 4), especialmente concordantes en el caso de bandas alejadas de singularidades, si bien en las bandas que recogen deformaciones en la cara del contacto principal también concuerdan adecuadamente en el tramo elástico una vez superada una fase de ajuste entre piezas. También se ha apreciado cómo en el embarbillado simple se consigue un mejor ajuste al modelo que en el doble, esto se debe a los mayores ajustes iniciales entre piezas al entrar en carga, de tal modo que en ocasiones el embarbillado trasero del doble no alcanza carga hasta que se produce el ajuste total entre todas las caras en contacto.

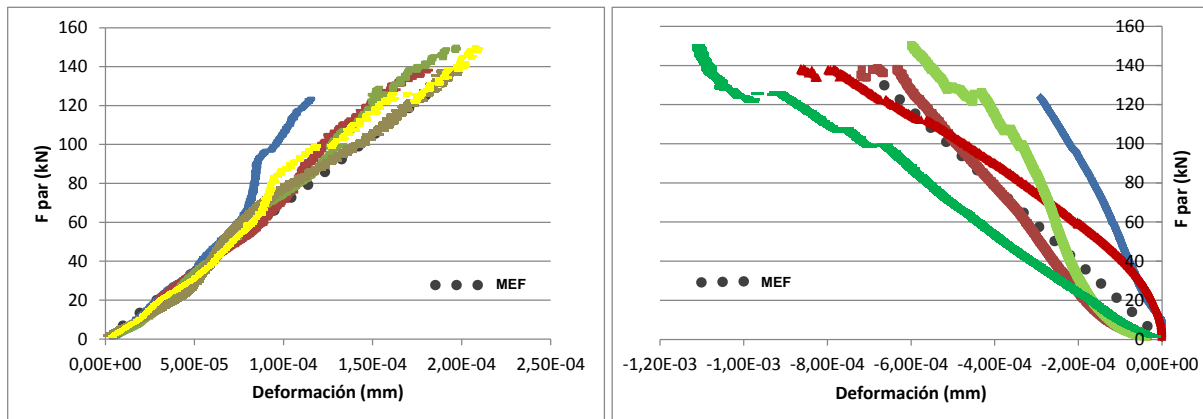


Figura 4: Carga-deformación para resultados experimentales y numéricos (MEF) en el embarbillado simple trasero, para un punto del eje del tirante (izqda.) y en un punto medio de la cara de contacto (dcha.).

Para la validación también se han empleado los resultados del desplazamiento horizontal del par frente a la carga aplicada recogidos por el extensómetro. En todos los casos se ha apreciado una adecuada correlación, si bien existe un periodo inicial de ajuste entre caras y de aumento de pendiente hasta alcanzar un comportamiento lineal estable. Dadas las dimensiones de las piezas se aprecia la pequeña magnitud de deformaciones y desplazamientos.

El modelo numérico es considerado conveniente para estimar la capacidad de estas uniones, su estado tensional y para observar la relación carga-desplazamiento en el rango lineal elástico. Validados los modelos podemos estudiar el estado tensional de la unión ante cargas similares a las de la rotura de cada pieza.

En la figura 5 se aprecian las tensiones de cortante para el embarbillado doble, se puede ver como se concentran y distribuyen las tensiones rasantes en la zona donde finalmente falla la unión, de manera consistente con los resultados experimentales y como se alcanzan los valores de rotura según los valores considerados por Schmidt y Kaliske, (2009) para simulación numérica con este material. En el caso del embarbillado doble se aprecia como la cara frontal del primer rebaje no genera tensiones de rasante preocupantes.

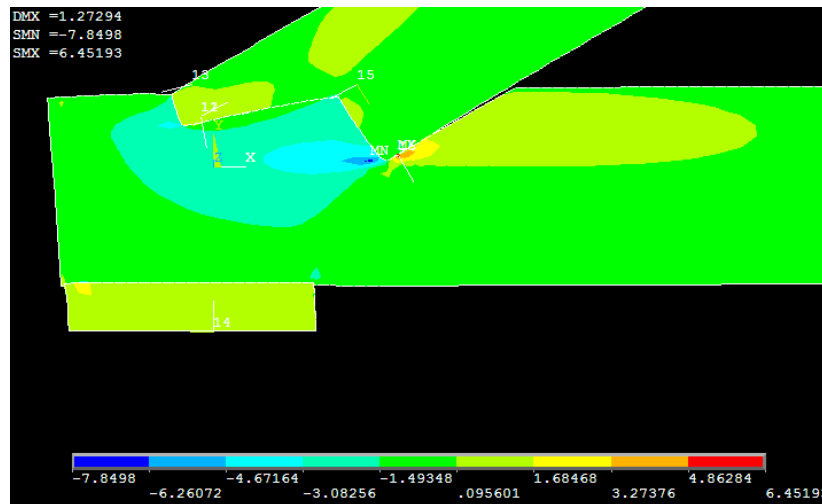


Figura 5: Tensiones tangenciales τ_{xy} para el embarbillado doble bajo la carga de rotura.

La deformación aumentada permite apreciar como una pequeña rotación del par origina una separación que prácticamente anula el rozamiento en la cara larga trasera (parte inferior del par), y es así el frente de barbilla trasero el que principalmente transmite la acción del par al tirante con una fuerte concentración de tensiones en la parte baja de ese frente.

En la figura 6 se han representado las tensiones perpendiculares a la fibra para el embarbillado simple trasero, sin holgura y con holgura en el apoyo del pico que se genera en el par sobre el tirante, para poder apreciar la presencia o no de tracción perpendicular a la fibra, siempre peligrosa para estructuras de madera, en cada una de las disposiciones. Se puede ver que en el caso de apoyo directo sobre el tirante sin presencia de holgura, se generan tracciones perpendiculares que se acercan al valor de resistencia a la tracción perpendicular recogida de la bibliografía indicada, un pequeño incremento del giro del par puede conducir a la rotura. La holgura de 3mm resulta suficiente para evitar este efecto.

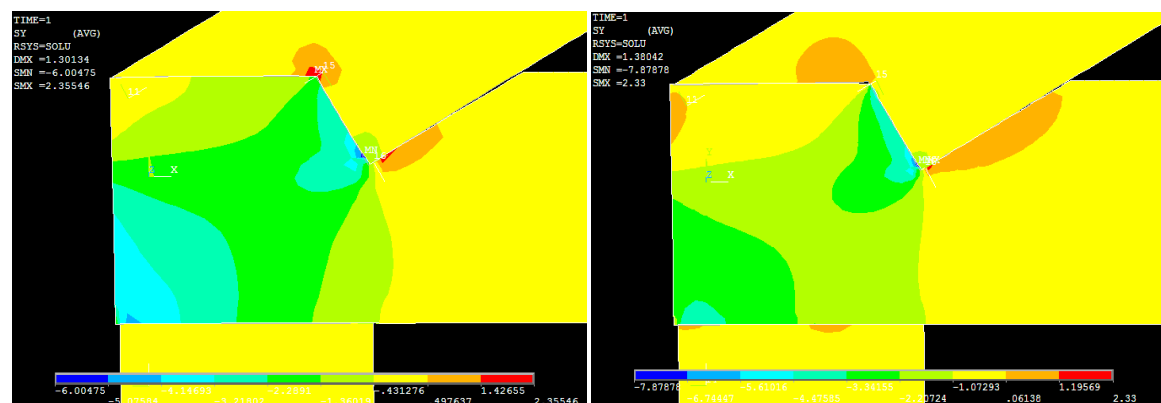


Figura 6: Tensiones normales σ_y para el embarbillado trasero bajo la carga de rotura.

Conclusiones

El punto clave de resistencia de estas uniones es la rotura por rasante en el cogote al verse superada la resistencia a cortante en este punto, la compresión oblicua a las fibras no resulta determinante al no superarse la resistencia salvo en pequeñas regiones puntuales que no comprometen la unión, al menos para los ángulos usuales de las pendientes de cubiertas agroindustriales.

Los resultados experimentales mostraron un incremento en la resistencia respecto al cálculo teórico de rotura por cortante de un 15% para el caso del embarbillado doble y un 60% para el embarbillado simple de talón. Respecto a la resistencia a compresión oblicua no se presentó rotura habiéndose superado la tensión de cálculo entre un 30% para el embarbillado doble y un 122% para el simple trasero.

En el caso del embarbillado doble y para una definición geométrica del mismo según el código técnico de la edificación español, CTE SE-M, es el rebaje trasero el que prácticamente transmite todo el esfuerzo por lo que ha de centrarse en éste la comprobación a cortante.

La definición geométrica del embarbillado doble que hace el código técnico establece un rebaje trasero fijo según el canto del par al definirlo desde su eje y a 90º, lo que en cierto modo limita el diseño normativo de esta unión.

Resulta importante mantener una holgura en el pico que se genera entre el par y el tirante en su parte superior en el caso del embarbillado trasero para evitar la aparición de tracciones perpendiculares a la fibra, lo que se hace extensible a todo tipo de apoyos en los que se presenten este tipo de entalladuras.

Los modelos generados por Elementos Finitos captaron adecuadamente los comportamientos observados en la fase experimental, lo que permitirá estudiar otras variantes de ángulos, escuadrías, clases resistentes de madera, disposiciones, etc.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a los fondos del Proyecto de Investigación AGL2012-39368-C03-01: “Análisis numérico y experimental de uniones tradicionales y vigas de madera estructural. Aplicación de NDT y criterios de rotura para optimizar simulación y dimensionado” del Plan Nacional de I+D+I del Ministerio de Ciencia e Innovación. También se ha contado con la colaboración del Grupo de Investigación Forestal de la Universidad de Extremadura RNM004. Agradecer igualmente a Maderas Besteiro la aportación del material para la fase experimental.

Bibliografía

- CEN EN 14080, 2013. Timber structures. Glued laminated timber and glued solid timber. Requirements. Brusells: European Committee for Standardisation.
- Crespo, J., Regueira, R., Soilan, A., Díez, M.R., Guaita, M., 2011. Desarrollo de metodología para la determinación de los coeficientes de fricción estático y dinámico de diferentes especies de madera. CIMAD11. ISBN: 978-989-96461-2-4
- Feio, A.O., Lourenço, P.B., Machado, J.S., 2014. Testing and modeling of traditional timber mortise and tenon joint. Mater Struct. 47, 213-225.
- Koch, H., Eisenhut, L., Seim, W., 2013. Multi-mode failure of form-fitting timber connections – Experimental and numerical studies on the tapered tenon joint. Eng Struct. 48, 727-738.

- Ministerio de Fomento, 2009. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Estructuras de Madera, CTE-SE-M 2009, Madrid, Spain
- Palma, P., Ferreira, J., Cruz, H., 2010. Monotonic test of structural carpentry joints. WCTE 2010. ISBN: 978-162-27617-5-3
- Parisi M.A., Piazza M., 2002. Seismic behaviour and retrofitting of joints in traditional timber roof structures. *Soil Dyn and Earthq Eng.* 22, 1183-1191.
- Parisi, M.A., Cordié, C., 2010. Mechanical behavior of double-step timber joints. *Constr Buid Mater.* 24, 1364-1371.
- Schmidt, J., Kaliske, M., 2009. Models for numerical failure analysis of wooden structures *Eng Struct* 31 571-579
- Smith, I., Landis, E., Gong, M. 2003. *Fracture and Fatigue in Wood*. Ed. Wiley. ISBN: 0-471-48708-2.
- Villar, J.R., Guaita, M., Vidal, P., Argüelles, R., 2008. Numerical simulation of framed joints in sawn-timber roof trusses. *Span J Agric Res*, 6(4), 508–520.
- Villar, J. R., Guaita, M., Vidal, P., Arriaga, F., 2007. Analysis of the Stress State at the Cogging Joint in Timber Structures. *Biosyst Eng*, 96(1), 79–90.

*SESIÓN V: PROYECTOS, MEDIO
AMBIENTE, Y TERRITORIO*

P01 - Aplicación de redes de sensores inalámbricas para seguimiento microclimático en parcelas de frutales con riesgo de helada

Brasa Ramos, A.¹; Montero Riquelme, F.¹, Montero García, F.²

¹ ETSIAM, Universidad de Castilla-La Mancha, 02006-Albacete, antonio.brasa@uclm.es, francisco.montero@uclm.es. ² Universidad Técnica Particular de Loja, Loja (Ecuador), fjmontero2@utpl.edu.ec

Resumen

Se pretende optimizar el diseño de una Red de Sensores Inalámbrica (RSI) para el análisis de la variabilidad microclimática de acuerdo a las condiciones particulares de frutales de pepita en zonas de alto riesgo de heladas en el sureste de la provincia de Albacete, con objetivos de mejora de la calidad y productividad de una explotación comercial, además de la evaluación de la posible incidencia de heladas, a partir de la información observada. Una de las tareas claves es el desarrollo de un sistema de información que debe integrar los datos adquiridos. Los resultados obtenidos se dirigen a la validación de estas tecnologías para su aplicación de forma sencilla en la toma de decisiones del empresario y para el establecimiento de orientaciones tácticas. La elección de una red de sensores inalámbricos de carácter comercial homologada ha garantizado su funcionamiento y la validez de las medidas. Por otra parte, el acceso remoto resulta un elemento clave en la operación del sistema. Asimismo, se confirma la necesidad de establecer una serie de protocolos de operación, mantenimiento y acceso que aseguren la funcionalidad del sistema y la integridad de los datos.

Palabras clave: RSI, micrometeorología agraria, agricultura inteligente, sistemas de información geográfica

Wireless Sensor Networks for Microclimate Monitoring in frost-threatened fruit orchards

Abstract

The aim of this paper is showing the process of on-farm design of a Wireless Sensor Network (WSN) to monitor microclimatic variability. The design was appropriately fitting to local conditions of high risk of late frosts. One of the key tasks was the development of an Information System integrating all the collected data. Results pointed out the validation and easy applications of these technologies in the farmer's decision making processes, and the establishment of tactical design recommendations. This paper shows a case study in a research project carried out in a fruit orchard in southeastern Albacete, Castilla-La Mancha, Spain. The results achieved in this project could help farmers to use this technology to make proper decisions and tactical farming operations. One of the key tasks is to develop an information system should integrate the acquired data. The results are aimed at validating these technologies for application easily in decision-making entrepreneur and for establishing guidelines tactics. Choosing a wireless sensor network of approved commercial operation guaranteed the validity of the measures. Furthermore, remote access is a key element in the operation of the system, as well as the need to establish a set of protocols for operation, maintenance and access to ensure system functionality and data integrity.

Keywords: WSN, micrometeorology, smart agriculture, Geographic Information Systems

Introducción y/o Justificación

El cambio climático plantea múltiples amenazas a la agricultura, incluida la reducción de la productividad agrícola, la estabilidad de la producción y los ingresos en zonas que cuentan con medios escasos para hacer frente a condiciones meteorológicas adversas. En un contexto de clima variable, la capacidad de transformar la agricultura sin

perjudicar la base de recursos naturales ayudará a mitigar los efectos negativos del cambio climático. Una agricultura más productiva y resistente requerirá una mejor gestión de los recursos naturales, como tierra, agua, suelo y recursos fitogenéticos a través de prácticas agronómicas (FAO, 2013). La agricultura de precisión puede considerarse una alternativa para alcanzar los objetivos de una agricultura climáticamente inteligente al posibilitar la aplicación de cantidades adecuadas de inputs en el momento y lugar adecuados (Campbell et al., 2014).

La agricultura de precisión se basa en información proporcionada por nuevas tecnologías como sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), teledetección, dispositivos de seguimiento de la producción, tecnologías de aplicación de dosis variable (VRT), etc. El uso de los sensores permite un manejo específico en una superficie pequeña (Cook and Bramley, 1998). La temperatura y humedad ambiental permiten realizar un seguimiento de la demanda hídrica del cultivo (Allen et al., 1998; Hidalgo, 2002) y del riesgo de plagas y enfermedades (Gubler et al., 1999). La Agricultura de Precisión exige un complejo manejo de los datos (Wang et al., 2006; Arnó et al., 2009; Zhang et al., 2012). Los datos de algunas variables pueden ser obtenidos por medio de tecnologías de teledetección. Para otras variables, sin embargo, las medidas directas en campo son esenciales, lo que ha motivado numerosos estudios sobre sensores, dispositivos y equipos. El desarrollo de sensores de bajo consumo, microprocesadores y sistemas de transmisión inalámbricos está permitiendo el desarrollo de sistemas distribuidos aplicados a la monitorización del medio ambiente, espacios inteligentes y la agricultura de precisión (Aqeel-ur-Rehman et al., 2014). Las redes inalámbricas de sensores (RSI) tienen un gran potencial ya que pueden ser instaladas en campos de cultivo para capturar y transmitir un gran número de parámetros microclimáticos durante todo el proceso de producción (Crowley et al., 2005; Klingbeil and Wark, 2008; Nadimi et al., 2008; Green et al., 2009; Huircán et al., 2010).

Los continuos avances en las tecnologías geoespaciales para adquisición remota de datos, en tecnologías para procesamiento de grandes volúmenes de datos y en tecnologías de equipos de aplicación en parcela, podrían cambiar los sistemas de cultivo en no mucho tiempo. En las últimas dos décadas se han desarrollado y aplicado experimentalmente estas tecnologías, pero a pesar de ser aparentemente intuitivas por su representación espacial mediante mapas y gráficos, necesitan ser analizados e interpretados por expertos para poder ofrecer resultados verosímiles. En realidad, rara vez los datos recogidos se han convertido en información que pudiera llevar al agricultor a realizar un manejo agronómico diferenciado. Además, estas expectativas hasta el momento quedan restringidas por la disponibilidad de capital, capacitación técnica y accesibilidad a estas tecnologías que no son baratas ni sencillas, por lo que estos sistemas de producción no están disponibles para pequeños agricultores, con bajos rendimientos y con creciente presión ante condiciones climáticas adversas (Camilli et al., 2007; Cho et al., 2012).

Para situaciones específicas de vulnerabilidad en explotaciones agrarias concretas, las técnicas de gestión de riesgos deben girar entorno a dos cuestiones principales: i) mejorar las previsiones y los servicios que ofrecen las instituciones dedicadas a la extensión agraria y ii) disponer de apropiados instrumentos financieros de aseguramiento agrario que implique la utilización de mecanismos de gestión de riesgos

innovadores mediante sistemas de observación a distancia con sensores capaces de tomar datos a escala micrometeorológica en la parcela. Para ello se requiere un nivel tecnológico apropiado, toma de conciencia por parte de los agentes implicados y confianza mutua para establecer una relación comercial que permita ir abriendo canales de mercado que potencien la capacidad del agricultor para acceder a esta tecnología (Steenwerth et al., 2014). Los seguros agrarios basados en índices son uno de esos instrumentos que podrían ayudar a reducir el riesgo de los agricultores ante el cambio climático, ya que los pagos indemnizatorios se desacoplan de las pérdidas reales de producción provocadas por un accidente y estimadas a través de distintas características relacionadas con el impacto en el crecimiento de los cultivos o incluso su supervivencia a lo largo de una determinada extensión. Además reduciría los trámites de evaluación y peritación de daños, desmotivando al agricultor sobre su conducta para aumentar la probabilidad de recibir un pago (Johnson, 2013).

Este trabajo se enmarca en la línea de explorar el uso de los sistemas de información (SI) para la planificación y gestión del riesgo de heladas en frutales, proporcionar herramientas de seguimiento y evaluación de la variabilidad microclimática del cultivo de acuerdo a las condiciones particulares de las parcelas objeto de estudio, con el fin de aportar información para la planificación táctica del mismo. Se trata de integrar los datos en un SI que permita analizar la variabilidad de las parcelas de estudio y aporte información suficiente para el manejo del cultivo y para la planificación de campañas. Se pretende validar e introducir esta nueva tecnología para su aplicación de forma sencilla en el sector de los seguros agrarios.

El objetivo concreto de este trabajo es la evaluación a partir de la sintomatología observada y de la información climática disponible de la posible incidencia de heladas en el período desde febrero hasta abril de 2014, en un área de estudio del sureste de la provincia de Albacete, casi limítrofe con la Región de Murcia, donde el cultivo de frutales está expandiéndose hacia zonas de alto riesgo en los últimos años.

Material y Métodos

Se estudiaron un conjunto de 97 parcelas de frutales de hueso, ubicadas en los términos municipales de Pétrola, Fuente-Álamo, Montealegre del Castillo, y Hellín, pertenecientes a la provincia de Albacete y cuya distribución catastral se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución catastral de las parcelas de estudio

T. Municipal	Nº Polígonos	Nº Parcelas	Nº Recintos
Pétrola	2	2	12
Fuente-Álamo	2	6	12
Montealegre del Castillo	6	11	32
Hellín	1	8	41
Total	11	27	97

En la zona de estudio se disponía de datos meteorológicos de estaciones situadas en zonas que no pueden ser consideradas representativas. En la Tabla 2 se recoge la información ofrecida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) de la red de estaciones Agrometeorológicas del Sistema de Información

Agroclimática para el Regadío (SiAR), del Sistema de Información Agrario de Murcia (IMIDA) y del servicio integral de asesoramiento al regante (CREA), en cuanto a las estaciones disponibles en el entorno del área de estudio, los valores de temperatura mínima absoluta (TMIN_ABS) inferior a cero grados y los valores de temperatura mínima media correspondiente al período de estudio (del 17/02/2014 al 26/05/2014).

Tabla 2. Características generales de estaciones seleccionadas, temperaturas mínima absoluta y su fecha de ocurrencia, junto con la temperatura mínima media (Fuente: Sistema de Información Agrario de Murcia de IMIDA y Servicio integral de asesoramiento al regante del CREA)

Estación	Provincia	Municipio	Altitud	TMin_Abs	Fecha	TMin_Media
La Carrichosa	MU	Cieza	254	-0,63	11/03/2014	8,25
Rotas	MU	Calasparra	275	-1,68	09/03/2014	7,22
Aljunczarejo-R.	MU	Jumilla	341	-1,06	11/03/2014	7,86
C ^a del Judío	MU	Jumilla	395	-0,37	08/03/2014	8,09
Las Encebras	MU	Jumilla	401	-1,8	11/03/2014	7,03
El Chaparral	MU	Cehegín	433	-5,54	09/03/2014	4,18
Venta Ulea	MU	Moratalla	456	-2,33	09/03/2014	6,64
La Torrecica	MU	Cehegín	507	-0,83	09/03/2014	7,24
Caudete	AB	Caudete	531	-3,4	24/02/2014	6,73
Pinillos	MU	Yecla	567	-3,19	24/02/2014	6,48
Las Moratillas	MU	Yecla	658	-3,98	08/03/2014	5,76
Ontur	AB	Ontur	682	-1,6	24/02/2014	6,71
Almansa	AB	Almansa	698	-4,6	11/03/2014	5,27
El Cruce-Barr.	MU	Caravaca	869	-4,4	09/03/2014	4,68
Pozocañada	AB	Pozocañada	872	-2,2	10/03/2014	5,99
Casas del Rey	MU	Moratalla	1232	-1,3	10/03/2014	5,92

La operatividad del proyecto exigió por tanto la selección de parcelas concretas para realizar un seguimiento programado y por ello, en función de condicionantes geográficos, técnicos y de representatividad de las muestras, se estableció que el procedimiento previsto se llevaría a cabo en parcelas de Hellín (área de Mingogil), de Cancaix, y de Fuente-Álamo. En cualquier caso, fue imprescindible conocer e interpretar la evolución térmica del período estudiado en las parcelas seleccionadas y, valorar adecuadamente los riesgos asumibles derivados de la incidencia térmica.

En la Figura 1 se muestra la distribución espacial de las parcelas de estudio junto con la localización de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente.

El material vegetal utilizado en las parcelas de control son variedades tardías de melocotón para las ubicaciones de Hellín y de Fuente-Álamo, y de cerezo en el caso de Cancaix. Se trata de parcelas en estado adulto (12-15 años de edad) en el melocotonero, y en formación para el caso del cerezo.

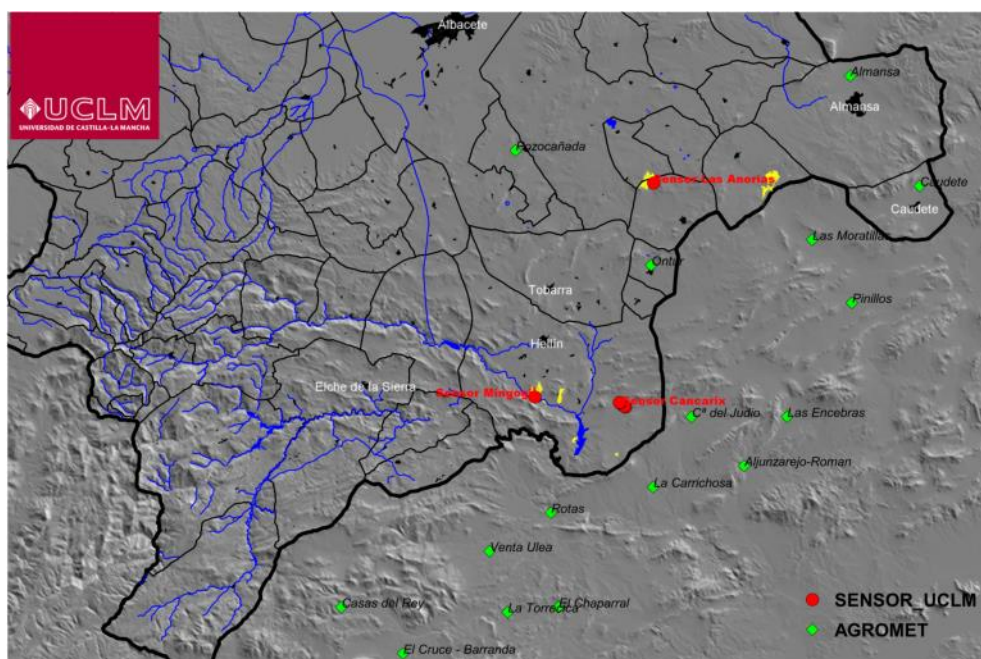


Figura 1. Distribución espacial de las parcelas de estudio junto con las estaciones meteorológicas disponibles

La parcela de Hellín representa una ubicación especial por cuanto su enclave corresponde a una zona con una altitud en torno a los 400 m.s.n.m., de fuerte orografía que genera un valle con pendiente unilateral del 30% entre el río Mundo y la Sierra de los Donceles en Hellín, Albacete. El segundo punto de control se localizó en el entorno de Cancarix, caracterizado por la amplitud de las plantaciones y la homogeneidad de altitudes en torno a los 460 m.s.n.m. de altitud. El tercer punto de control se situó en el municipio de Fuente-Álamo, Albacete, en una zona en transición a la llanura de Albacete, pero a una altitud de 850 m.s.n.m. con entornos muy próximos de mayor altitud, en donde se generan fuertes corrientes de viento.

Para evaluar la incidencia del período en el que los órganos sensibles al efecto del frío pueden soportar determinadas temperaturas, hubo que recurrir a un estudio detallado de la evolución horaria del comportamiento climático. Se eligieron tres parcelas de control en las que se instaló un dispositivo de seguimiento de la evolución microclimática en el entorno de los órganos vegetativos. La monitorización se estableció en función del régimen térmico histórico de temperaturas mínimas, y de las previsiones fenológicas para el cultivo y, en nuestro caso, abarcó el período comprendido desde mediados de febrero hasta principios de junio, con una frecuencia de medición y almacenamiento de 15 minutos.

El equipamiento utilizado para las determinaciones térmicas se puede observar en la Figura 2. Se trata de un equipo de sensores de temperatura y humedad instalados en el entorno inmediato del órgano vegetativo a monitorizar, para obtener una caracterización microclimática del cultivo, e integrados en una red de comunicación inalámbrica (RSI).

En la Figura 3 puede observarse la colocación general de sensores y nodos en árboles frutales. Dado que el objetivo de este seguimiento reside en la determinación de temperaturas mínimas y que la acumulación de las mismas ha de manifestarse con mayor intensidad en las zonas bajas, los sensores se situaron en la zona inferior de la cubierta vegetal. Por el contrario, los nodos se colocaron a la mayor altura posible, dado

que cabía esperar un desarrollo notable de la vegetación, como para generar cierta distorsión de la comunicación inter-nodos, así como para garantizar la exposición adecuada de los paneles solares que autoabastecen las baterías del mismo.

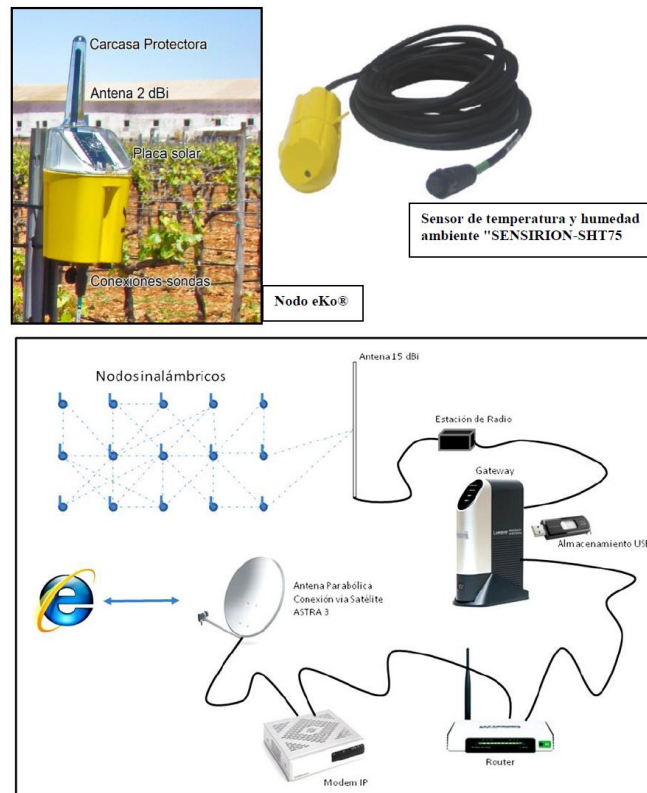


Figura 2. Componentes y esquema general de la red de sensores inalámbricos



Figura 3. Instalación de sensores y nodos en las parcelas de Cancarix

Se realizó un seguimiento fenológico, con especial atención en los órganos más sensibles, para comprobar la posible incidencia de las bajas temperaturas.

Resultados y Discusión

En la Figura 4 se representa la evolución térmica en cada una de las parcelas control: Cancarix, Fuente-Álamo y Hellín, desde el 22 de febrero hasta el 11 de abril, donde puede apreciarse las fechas de ocurrencia de heladas. La información derivada de las visitas practicadas a las parcelas control y la observación monitorizada de las temperaturas acaecidas en las mismas, los días 24 de febrero, 8, 9, 10, 11 y 24 de marzo de 2014, constituye el núcleo de información relevante del presente estudio.



Figura 4. Evolución térmica en las parcelas control: Cancarix, Fuente-Álamo y Hellín, desde el 22 de febrero hasta el 11 de abril de 2014

En la Tabla 3 se presentan los valores de temperaturas mínimas absolutas (°C) recogidas por los sensores instalados en las parcelas control, junto con aquellos otros obtenidos de las estaciones meteorológicas oficiales más próximas y representativas, para valores inferiores a cero grados centígrados.

Tabla 3. Temperaturas registradas en las fechas seleccionadas en las parcelas de control (CONTROL) y en las estaciones meteorológicas oficiales (METEO) más próximas y representativas, con valores iguales o inferiores a cero grados centígrados

CONTROL	METEO	FECHAS					
		24-02	08-03	09-03	10-03	11-03	24-3
Cancarix		0,7	0,1	-1,6	0,1	-0,5	1,3
	C ^a del Judío (Jumilla)	*	-0,37	*	*	*	*
	Rotas (Calasparra)	*	*	-1,68	*	*	*
	La Carrichosa (Cieza)	*	*	*	*	-0,63	*
Fuente-Álamo		-	-2,6	-2,0	-2,5	-3,1	-3,4
	Ontur	-1,6	*	*	*	*	*
	Caudete	-3,4	*	*	*	*	*
	Pozocañada	*	*	*	-2,2	*	*
	Almansa	*	*	*	*	-4,6	*
Hellín		0,1	-0,7	-1,7	-1,0	-1,7	-0,3

*Valores registrados de temperatura mínima diaria mayores que 0°C

A partir de las gráficas diarias de temperaturas diarias registradas por los sensores en las parcelas de control, se calculó el tiempo de exposición a temperaturas inferiores a 0°C. A modo de ejemplo, en la Figura 5 se representa para la fecha del 24 de marzo de 2014 la evolución de la temperatura en todos los sensores en las tres parcelas de

control. Puede apreciarse que en la parcela de Fuente-Álamo el período de tiempo con temperaturas inferiores a 0°C tiene una duración de 7 h.

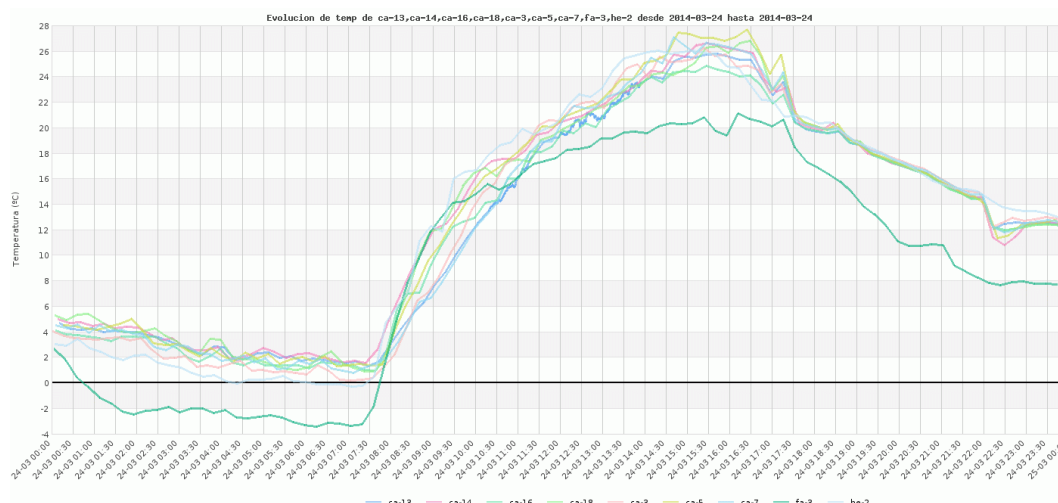


Figura 5. Evolución térmica diaria en las parcelas control de Cancarix, Fuente-Álamo y Hellín, el día 24 de marzo de 2014

El melocotonero y el cerezo presentan un comportamiento diferente ante bajas temperaturas. En la Tabla 5, se presentan algunos valores significativos de la resistencia a temperaturas bajas en distintos estadios fenológicos y para distintas especies frutales.

Tabla 4. Temperaturas soportadas como máximo durante 30 minutos en diferentes especies frutales (Gil-Albert, 1986).

	Botones cerrados	Floración plena	Frutos jóvenes
Melocotonero	-3,9	-2,5	-1,6
Manzano	-3,9	-2,2	-1,6
Cerezo	-3,9	-2,2	-1,1
Peral (var. sensible)	-3,9	-1,7	-1,1
Peral (var. resistentes)	-4,4	-2,2	-1,1
Ciruelo	-3,9	-2,2	-1,1
Ciruelo japonés	-5,0	-2,8	-1,1
Albaricoquero	-3,9	-2,2	-0,5
Almendro	-3,3	-2,7	-1,1

Por lo tanto, se determinó la duración de los períodos de tiempo críticos de exposición a temperaturas inferiores a valores de 0°C (identificación de helada) y -2,5°C (como valor de referencia en melocotonero en plena floración), y sus valores se presentan en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

En la Tabla 5 se observa que los períodos de temperaturas inferiores a 0°C son más largos en Fuente-Álamo, como cabía esperar debido a su situación geográfica y a su altitud. Sin embargo, en la Tabla 6 se observa que las temperaturas registradas en esa parcela de control por debajo del umbral de posible incidencia de daños (-2,5°C) sólo son apreciables (más de 0,5 h) en las fechas de 11 y 24 de marzo, mientras que en Cancarix y Hellín no hay incidencia.

Tabla 5. Duración (horas) del período con temperatura inferior a 0°C en las parcelas de control en las fechas de estudio

Fecha	Cancarix	Fuente-Álamo	Hellín
24 de febrero de 2014	0,00	0,00	0,00
8 de marzo de 2014	0,00	8,25	1,75
9 de marzo de 2014	3,25	4,30	4,25
10 de marzo de 2014	0,00	6,30	3,00
11 de marzo de 2014	0,75	7,25	4,25
24 de marzo de 2014	0,00	7,00	1,50

Tabla 6. Duración (horas) del período con temperatura inferior a -2,5°C en las parcelas de control en las fechas de estudio

Fecha	Cancarix	Fuente-Álamo	Hellín
24 de febrero de 2014	0,00	0,00	0,00
8 de marzo de 2014	0,00	0,25	0,00
9 de marzo de 2014	0,00	0,00	0,00
10 de marzo de 2014	0,00	0,00	0,00
11 de marzo de 2014	0,00	1,00	0,00
24 de marzo de 2014	0,00	3,25	0,00

Conclusiones

La metodología de seguimiento de temperaturas mediante redes de sensores inalámbricas personalizadas a los objetivos de estudio concretos, y conectadas a internet, permite acceder a la información en tiempo real. A la vista de los resultados obtenidos y, en función de la metodología utilizada, podemos concluir que la sintomatología detectada en campo y la información climática utilizada, no reflejan una relación directa causa-efecto entre las condiciones térmicas presentes en las fechas seleccionadas por efecto de los datos oficiales y de la monitorización seguida en parcela, a daños por heladas.

Tanto los valores de temperatura mínima alcanzada como la duración del período de exposición a las mismas, son insuficientes para la calificación de helada salvo en el caso de la ubicación Fuente-Álamo para los días 11 y 24 de marzo, sin repercusión fisiológica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación y colaboración de Agroseguro S.A., Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados.

Bibliografía

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Aqeel-ur-Rehman, A.Z. Abbasi, N. Islam, and Z.A. Shaikh. 2014. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Comput. Stand. Interfaces* 36(2): 263–270 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548911000353> (verificado 30 Septiembre 2014).
- Arnó, J., J.A. Martínez-Casasnovas, M. Ribes-Dasi, and R. Rosell. 2009. Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish J. Agric. Res.* 7(4): 779–790.
- Camilli, A., C.E. Cugnasca, A.M. Saraiva, A.R. Hirakawa, and P.L.P. Corrêa. 2007. From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* 58(1): 25–36.
- Campbell, B.M., P. Thornton, R. Zougmore, P. van Asten, and L. Lipper. 2014. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8: 39–43 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343514000359> (verificado 17 Agosto 2014).
- Cho, Y., K. Cho, C. Shin, J. Park, and E.S. Lee. 2012. Convergence and Hybrid Information Technology (G Lee, D Howard, JJ Kang, and D Ślęzak, Eds.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Cook, S.E., and R.G. V Bramley. 1998. Precision agriculture: opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 38(7): 753–763.
- Crowley, K., J. Frisby, S. Murphy, M. Roantree, and D. Diamond. 2005. Web-based real-time temperature monitoring of shellfish catches using a wireless sensor network. *Sensors Actuators A Phys.* 122(2): 222–230.
- FAO. 2013. CLIMATE-SMART AGRICULTURE SOURCEBOOK. Rome, Italy.
- Gil-Albert, F. 1986. La Ecología del Árbol Frutal. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Girvetz, E.H., J.H. Thorne, A.M. Berry, and J.A.G. Jaeger. 2008. Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA. *Landsc. Urban Plan.* 86(3-4): 205–218 Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204608000352> (verificado 22 Agosto 2014).
- Green, O., E.S. Nadimi, V. Blanes-Vidal, R.N. Jørgensen, I.M.L.D. Storm, and C.G. Sørensen. 2009. Monitoring and modeling temperature variations inside silage stacks using novel wireless sensor networks. *Comput. Electron. Agric.* 69(2): 149–157.

- Gubler, W.D., M. Rademacher, S.J. Vasquez, and C.S. Thomas. 1999. Control of powdery mildew using the UC Davis powdery mildew risk index. APSnet Featur.Disponible en <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/UCDavisRisk.aspx>.
- Hidalgo, L. 2002. Tratado de viticultura general. Mundi-Prensa Libros.
- Huircán, J.I., C. Muñoz, H. Young, L. Von Dossow, J. Bustos, G. Vivallo, and M. Toneatti. 2010. ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields. *Comput. Electron. Agric.* 74(2): 258–264.
- Johnson, L. 2013. Index insurance and the articulation of risk-bearing subjects. *Environ. Plan. A* 45(11): 2663–2681 Available at <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=a45695> (verified 31 March 2015).
- Klingbeil, L., and T. Wark. 2008. A Wireless Sensor Network for Real-Time Indoor Localisation and Motion Monitoring. p. 39–50. *In* Information Processing in Sensor Networks, 2008. IPSN '08. International Conference on.
- Nadimi, E.S., H.T. Søgaaard, T. Bak, and F.W. Oudshoorn. 2008. ZigBee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass. *Comput. Electron. Agric.* 61(2): 79–87.
- Steenwerth, K.L., A.K. Hodson, A.J. Bloom, M.R. Carter, A. Cattaneo, C.J. Chartres, J.L. Hatfield, K. Henry, J.W. Hopmans, W.R. Horwath, B.M. Jenkins, E. Kebreab, R. Leemans, L. Lipper, M.N. Lubell, S. Msangi, R. Prabhu, M.P. Reynolds, S. Sandoval Solis, W.M. Sisco, M. Springborn, P. Tiftonell, S.M. Wheeler, S.J. Vermeulen, E.K. Wollenberg, L.S. Jarvis, and L.E. Jackson. 2014. Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. *Agric. Food Secur.* 3(1): 11 Disponible en <http://www.agricultureandfoodsecurity.com/content/3/1/11> (verificado 25 Marzo 2015).
- Wang, N., N. Zhang, and M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Comput. Electron. Agric.* 50(1): 1–14.
- Zhang, Y.J., A.J. Li, and T. Fung. 2012. Using GIS and Multi-criteria Decision Analysis for Conflict Resolution in Land Use Planning. *Procedia Environ. Sci.* 13(0): 2264–2273.

P02 - Valoración de Activos Ambientales. Revisión de los principales métodos tradicionales de valoración de activos ambientales y sus aplicaciones.

Marín Sánchez, U.¹; Martínez Nicolás, J.J.¹; Melián Navarro, A.¹

¹ Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández. Ctra de Beniel, km. 3,2, 03312 Orihuela (Alicante) e-mail: umarinsan21@gmail.com; juanjose.martinez@umh.es; amparo.melian@umh.es

Resumen

Los bienes y servicios ambientales han sido y siguen siendo utilizados por el hombre para satisfacer sus necesidades, aunque es de sobra conocida la limitación valorativa de los mismos. Estos bienes y servicios se han valorado tradicionalmente teniendo en cuenta aquellos aspectos que únicamente responden a su comportamiento en el mercado, es decir, aquellos a los que se les asigna un valor monetario basado en la oferta y la demanda existente de los mismos. Pero también hay una parte que carece de mercado y, que por tanto es necesario valorar a través de técnicas que nos permitan una aproximación a dicho valor. En la medida que podamos conocer el valor económico total de los bienes y servicios ambientales, podremos conseguir realizar sobre éstos un mejor análisis y una mayor eficiencia en cuanto a la aplicación de medidas de conservación, protección y gestión. En este trabajo se indica cuáles son los componentes del valor económico total y los principales métodos tradicionales de valoración de activos ambientales. Tras su clasificación en métodos directos e indirectos, se describen sus fundamentos, su ámbito de aplicación, las bondades y limitaciones de éstos, así como se efectúa una revisión de los distintos estudios donde se han aplicado.

Palabras clave: Medio ambiente, Valor Económico Total, Valor de mercado

Valuation of environmental assets. Review of the main traditional methods of valuation of environmental assets and their applications

Abstract

The environmental goods and services have been and are used in benefit of the man to satisfy his needs, however, the valuation limitation of them is known enough. These goods and services have been valued traditionally taking into account those aspects that only answer to their behavior on the market, that is to say, those which a monetary value based on the existing offer and demand of them is assigned. But, there is also a part that lacks market and, that therefore, it becomes necessary to value through techniques that allow us an approximation the above mentioned value. In the measure that we could know the total economic value of the environmental goods and services, we will be able to manage to carry out ones a better analysis about them and a major efficiency as for the application of measures of conservation, protection and management. This work indicates the components of the total economic value and main traditional methods to evaluate environmental assets. After their classification in direct and indirect methods, their foundations, area of application, benefits and limitations are described, and a review of the different studies where they have been applied is undertaken.

Keywords: Environment, Total Economic Value, Market value

Introducción

La valoración económica del medio ambiente se basa en asignar un valor monetario a los bienes y servicios ambientales que no tienen un precio establecido por el hecho de

carecer de un mercado que lo determine. Autores como Aznar y Estruch (2012), Barbier *et al.* (1997) y Liu *et al.* (2010), indican que dicha valoración económica nos va a proporcionar una estimación de las ventajas que nos aportan.

Los espacios naturales suscitan interés en nuestra sociedad. Este se produce, no sólo por los bienes que podemos obtener de ellos, como la producción de alimentos y materias primas, sino también, por el conjunto de servicios que aportan y para los que no existe un mercado, lo que dificulta que sean adecuadamente valorados, aunque poseen un gran valor social y económico.

Aznar y Estruch (2012) sostienen que nuestra sociedad es una sociedad de mercado, donde la importancia de un activo está determinada por su valor monetario. Este hecho hace que la manera en la que la sociedad pueda conceder importancia a un activo ambiental sea a través de su valor monetario.

Para estimar el valor de los activos ambientales carentes de mercado, la economía ha desarrollado una serie de técnicas de valoración económica que se pueden clasificar en métodos indirectos o de preferencias reveladas, que estiman su valor a partir de la observación de mercados reales que están relacionados con los recursos naturales, y métodos directos o de preferencias declaradas.

El objeto de este trabajo es exponer los principales métodos tradicionales de valoración de activos ambientales, tanto los indirectos (método del coste del viaje, método del precio hedónico o de los costes evitados o inducidos), como los directos (valoración contingente), así como algunas de sus aplicaciones, determinando previamente el concepto de Valor Económico Total (VET).

El Valor Económico Total (VET) de un activo ambiental

El valor real que tiene un bien ambiental no es sólo (si lo hubiere) un valor de mercado, sino que incorpora otros atributos para los que no existe un intercambio monetario. Este valor se contempla en lo que se denomina Valor Económico Total (VET).

Pearce (1992), citado por Sarmiento (2003), estableció a principios de los noventa, el concepto de Valor Económico Total (VET), como valor agregado (suma) de los Valores de Uso (VU) y valores de No Uso (VNU) de un activo ambiental. Estos a su vez están compuestos por: los Valores de Uso Directo (VUD), Valor de Uso Indirecto (VUI), y Valor de Opción (VO), para el primero, y el Valor de Existencia (VE) y el Valor de Legado (VL), para el segundo. De tal manera que el VET se determina del siguiente modo: $VET = VU + VNU = (VUD + VUI + VO) + (VE + VL)$

Las diferencias entre el Valor Económico Total (VET) y el valor de mercado, vienen establecidas por el hecho de que el valor de mercado sólo tiene en cuenta aquellos bienes y servicios en los que se produce intercambio en él, es decir, aquellos que tienen su referencia monetaria en los Valores de Uso Directo (VUD) (la explotación de los recursos para la satisfacción de las necesidades humanas, agricultura, pesca, recreo, caza, ocio, etc.). Cuando el valor de los bienes y servicios ambientales no es valorado por el mercado, es decir, no tienen presencia en él y por tanto sus usos no son retribuidos (disfrute de una zona recreativa, recarga acuíferos, depuración ambiental...), se trataría de un VUI.

El VO, es el valor que tiene para una persona el asegurar que en un futuro podrá disponer de bienes y servicios ambientales, aunque en la actualidad no esté disfrutando de ellos. El VE hace referencia al valor que tiene un activo por ser un recurso esencial para la conservación de especies, valores culturales, paisaje. Por último, el VL, es el valor que se le va a dar a un activo por el hecho de poder legarlo a las futuras generaciones para que puedan usarlo y disfrutarlo en un futuro.

En definitiva, como el VUD es el único componente del VET que puede ser valorado directamente en términos monetarios, al resto de componentes se les tiene que aplicar una valoración indirecta, dado que carecen de valoración en el mercado. Esta valoración indirecta se suele referenciar con la valoración directa de modo que determinado el valor de uso directo (valor pívot) el resto se obtiene por ponderación respecto del primero.

Métodos tradicionales de valoración de activos ambientales

El Método del Coste del Viaje.

El Método del Coste del Viaje (MCV) tiene su origen en una carta que Harold Hotelling (1947) envió al servicio de parques nacionales de los Estados Unidos, como respuesta a la petición que este ente realizó a un grupo de economistas con la finalidad de crear un modelo que permitiese una valoración de las áreas naturales que gestionaban, sentando las bases de lo que hoy se conoce como MCV.

Se configura como la técnica más antigua de las que tratan de determinar el valor de los bienes que carecen de mercado. La idea que subyace en su aplicación es la valoración económica de áreas naturales que tienen una función de carácter recreativo o ambiental. El coste que le genera a un individuo visitar un determinado espacio natural es considerado como una aproximación al precio de la actividad recreativa en esa área y el número de visitas es el equivalente a la demanda de esta actividad. De este modo, se puede obtener la función de demanda del bien ambiental relacionando el número de visitas, es decir, la demanda, con el coste del desplazamiento, que correspondería al precio.

El valor de los servicios recreativos de cada espacio natural es el resultado de calcular el área que queda por debajo de la curva de demanda por el número de visitantes. Así, conociendo la función de demanda y los costes, lograremos estimar el excedente del consumidor.

Esta metodología se basa en el principio de complementariedad débil, enunciado por Mäler (1974), entre un bien privado (Y) y un bien ambiental (X), de tal manera que si la utilidad marginal que proporciona el bien ambiental se hace cero, la disponibilidad marginal a pagar por una unidad adicional del mismo, que es su precio implícito, hace que la cantidad demandada también sea cero.

Dentro del método del coste de viaje se puede hacer una distinción entre, el método del coste de viaje zonal y el individual: en el enfoque zonal, se hace referencia al procedimiento tal y como lo estableció Hotelling, es decir, uno de los datos clave para realizar el cálculo es la proporción de visitantes de cada zona sobre la población total de las zonas de las que proceden. En el caso individual, se consideran como datos de referencia los de los visitantes de manera particular¹. Son numerosos los trabajos en los

¹ Puede consultarse la aplicación de estas dos variantes del método en Riera *et al.* (2005).

que se ha aplicado esta metodología para la valoración de activos, indicando en la tabla 1, algunos a modo de ejemplo.

Tabla 1. Aplicaciones del Método del Coste del Viaje

Autor	Objeto de estudio	Año de estudio	Variante del método	Nº Observaciones	Excedente consumidor (€)
Riera, et al.(1995)	El Pla de Boavi (Lleida)	1993	Zonal	300	8,38-12,56
Del Saz, S., y Pérez, L.(1999)	P. Natural de L' Albufera (Valencia)	1995	Individual	387	11,09-40,80
García de la Fuente, L. y Colina, A. (2004)	Parque Natural de Somiedo (Asturias)	2003	Individual	173	15,55-22,10
Riera, P. y Farreras, V. (2004)	Accidente petrolero Prestige (Costas del País Vasco)	2003	Zonal	-	37,07-38,15
Soriano, A. (2011)	P. Regional de Sierra Espuña (Murcia)	2010	Zonal	234	16,71

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos originales.

El método también tiene sus críticas y entre los inconvenientes que presenta se destacan los siguientes:

- Con la aplicación de esta técnica sólo se pueden valorar aquellos bienes que para su consumo requieren que se realicen desplazamientos.
- Es una técnica que sólo se utiliza para estimar los valores de uso, puesto que se basa en el comportamiento observado del individuo, por lo tanto no permite estimar los valores de no uso.
- Requiere elegir qué costes se atribuyen al individuo o grupo de personas que visitan el sitio. Ello implica determinar previamente qué conceptos deben considerarse y cuáles no, y cómo computarlos.
- Muchos individuos realizan viajes que no sólo tienen como único destino el lugar a visitar, sino que incluyen en su viaje varios sitios de interés a visitar, viaje multipropósito, dificultando la aplicabilidad.
- Otro inconveniente procede de las distintas pautas de comportamiento entre los individuos que visitan el lugar con cierta frecuencia y aquellos que lo hacen de manera

ocasional, los que provienen de zonas cercanas y los de zonas que se encuentran más alejada, la disparidad de comportamiento.

- Considerar o no los lugares sustitutivos del espacio a visitar. Algunos autores los tienen en cuenta, suponiendo esto una disminución en el cálculo del excedente del consumidor, y otros consideran que no es necesario incluirlos en el estudio debido a la cantidad de información que supone que hay que obtener (Castillo, *et al.*, 2008).

- Y por último, la unidad de medida utilizada para determinar la demanda.

En conclusión, más allá de las limitaciones previamente explicitadas del método del coste de viaje, el mismo constituye una herramienta importante para estimar el valor de uso de los servicios provistos por ciertos espacios naturales, allí donde otros métodos no son susceptibles de aplicación. Sin embargo, es importante tener en cuenta sus limitaciones en el momento de su aplicación.

El Método del Precio Hedónico

Los atributos de un bien influyen de manera positiva o negativa en él, dependiendo de la valoración que realice el consumidor de éstos. El supuesto de partida de este método se fundamenta en la hipótesis de que el precio de un bien corresponde a la suma de los precios de las características o atributos que lo componen (bienes "multiatributo"), y su precio está en función de dichas características o atributos.

Por lo tanto, el Método del Precio Hedónico (MPH) va a permitir valorar un bien o servicio heterogéneo en función de sus atributos o características, es decir, va a posibilitar el descubrimiento de los atributos que posee un bien o servicio e indicar la importancia de cada uno de ellos cuantitativamente. Junto a las características que determinan el precio del bien también se considera una variable o cualidad ambiental carente de mercado.

No existe consenso a la hora de determinar el origen en la aplicación de esta metodología. Son muchos los autores que establecen que se sitúa en el estudio realizado por Court para General Motors en 1939, con la finalidad de determinar los precios de los automóviles.

En 1974, Rosen establecería la fundamentación teórica de las funciones de precios hedónicos. Este autor explica que son los consumidores los que evalúan las diferentes características que componen un bien para decidir sobre su adquisición. Lo que se pretende concretar es de qué manera determinadas características de un bien, para las que no existe un mercado definido, afectan al valor de dicho bien. Mediante el uso de técnicas estadísticas de regresión se puede llegar a determinar la importancia cuantitativa de cada uno de sus atributos, así como su contribución al valor global del bien.

La mayoría de las aplicaciones de esta técnica están asociadas con el mercado de la vivienda. La primera de ellas data de 1967 cuando Ridker y Henning (1967), analizaron el efecto sobre el precio de mercado de las viviendas, en St. Louis, Estados Unidos, de la contaminación del aire, así como otras características propias de las viviendas y de su vecindario.

Posteriormente, en el trabajo realizado por Freeman (1979), se explica el precio de la vivienda en función de grupos de características estructurales de la misma, las características ambientales y del vecindario.

Al igual que ocurría con el método de los costes de viaje, se asume la existencia de complementariedad débil entre el disfrute de un bien ambiental y el de un bien privado

Rosen (1974), estableció dos etapas para la estimación del precio de un bien mediante la aplicación de esta técnica: en la primera, el precio del bien viene determinado por la suma del peso que cada atributo tiene sobre este. Y la derivada parcial del precio del bien con respecto a cada atributo permite obtener el precio marginal implícito. En la segunda etapa, se procede a una estimación de una curva de demanda inversa utilizando para ello los precios implícitos calculados anteriormente.

La ecuación que representa el precio de un bien sería del tipo: $P = f(X_1, X_2, \dots, X_n, Z)$, donde: P es el precio de compraventa del bien con mercado, X_1, X_2, \dots, X_n son los atributos que incorpora dicho bien, y Z es la característica ambiental.

El método ha sido aplicado en numerosos los estudios. La tabla 2 resume algunos de estos trabajos.

Tabla 2. Aplicaciones del Método del Precio Hedónico

Autor	Objeto de estudio	Año de estudio	Observaciones
Nuñez, et al. (2007)	Vivienda libre y unifamiliar en Córdoba	2006	Se elige la forma funcional para estimar la ecuación hedónica. El número de variables explicativas que se han establecido han sido seis y frente a igual poder explicativo, se ha elegido el modelo más simple. En los resultados podemos apreciar la relevancia que tiene cada una de las variables y su aportación al precio de la vivienda.
Tranchez, J. M. (2000)	Mercado inmobiliario del área metropolitana de Madrid (viviendas en propiedad de carácter libre y nuevas)	1994	El precio total al contado de cada vivienda analizada se establece como variable dependiente y para la elección de las variables independientes se ha utilizado el criterio de observación de estadísticos de significatividad de estas variables. La base de datos sobre la vivienda se ha completado con un amplio número de variables, que facilitan un análisis de la mayor parte de atributos explicativos del precio de la vivienda. El adecuado ajuste entre precios y características de las viviendas, obtiene resultados sobre las variables explicativas de las diferencias entre viviendas y sobre la aportación marginal implícita o precio hedónico de cada una de estas variables al precio de la vivienda.
Izquierdo, M. y	Ordenadores de		Los datos obtenidos parten de una muestra que abarca la década de los años 90. Las principales

Matea, M. LL. (2004)	mesa y portátiles	—	conclusiones a las que se llegaron con los resultados de este estudio es que los índices de precios hedónicos para ordenadores personales en España tienen un comportamiento decreciente importante (similar al de otros países). Las limitaciones en este estudio vienen establecidas por la inexistencia de cierta información que en caso de disponer de ella hubiese permitido obtener un mejor resultado
Perza, G. (2010)	Estimación de la D.O. (Denominación de Origen) en el precio del vino en Cataluña	2009-10	En este estudio se han considerado una serie de variables, tanto de oferta, como de demanda. Se ha utilizado el procedimiento Mínimos Cuadrados Ordinario para la función de precios hedónicos. Y después de analizar detenidamente cada una de las variables, se llega a la conclusión de que las D.O. catalanas tienen un impacto positivo en el precio, aún así, no todos los vinos producidos bajo su patrocinio son superiores en calidad a los vinos de "mesa".

Fuente: Elaboración a partir de los trabajos originales.

Entre los inconvenientes que puede presentar el modelo hedónico podríamos destacar:

- La multicolinealidad entre las variables predeterminadas del modelo, esto es, cuando dos de estas características están relacionadas. La multicolinealidad conlleva desde el punto de vista econométrico no poder aislar el efecto que cada una de las variables correlacionadas de forma independiente ejercen sobre el precio de la vivienda, por lo tanto los estimadores de los parámetros de la regresión tienen una alta varianza.
- Las estimaciones hedónicas pueden resultar sesgadas debido a características no observadas y omitidas.
- La dificultad y el elevado coste en la obtención de los datos.
- Los problemas derivados de la medición de la variable ambiental.
- En relación al análisis de las perturbaciones aleatorias el estimar con datos de corte transversal, conlleva la posible presencia de heterocedasticidad.

Método de los Costes Evitados o Inducidos

El método de los costes evitados o inducidos está basado en casos en los que el bien o servicio ambiental que vamos a valorar no se comercializa en el mercado, aunque sin embargo éste está relacionado con un bien que sí tiene presencia en el mercado y que por tanto tiene un precio.

La relación entre ambos bienes puede darse de dos formas: En la primera, el bien o servicio ambiental es un insumo más y por lo tanto influye en la función de producción de un determinado bien privado.

Estos métodos suponen que los costos de evitar que se produzcan daños en el medio ambiente generan estimaciones acerca de su valor. Se basan en el hecho de que las

personas están dispuestas asumir ciertos costes con la finalidad de evitar los perjuicios derivados de la pérdida de algún servicio ambiental o para reemplazar ciertos servicios del ecosistema. El importe que la gente paga para ello es lo que deben valer estos servicios.

Las funciones dosis-respuesta permiten comprobar cómo afecta a un determinado receptor (salud, cultivo, calidad del agua, etc.) la calidad del medio ambiente (contaminantes del agua, del aire, etc.). Las funciones dosis-respuesta constituyen una primera aproximación a la valoración económica de la alteración de algún bien o servicio ambiental (Freeman, (1993), citado por Sarmiento, (2003)). Son varios los supuestos a tener en cuenta en este método: a) Si el productor es pequeño, esto es, el incremento o reducción del bien es relativamente pequeño respecto al mercado de factores variables, los precios de este producto y de los factores variables permanecerán constantes ante un cambio en el volumen de producción. En este caso, el productor se enfrenta a curvas de demanda horizontal, lo que le va a permitir hacer una estimación de la mejora o el deterioro ambiental, que serían experimentados por el productor; b) No obstante, puede ocurrir que los cambios en la producción de un bien sean lo suficientemente grandes para provocar un cambio en los precios del mismo y en el de los factores de producción. En este caso, el impacto es muy difícil de calcular y los efectos del mismo en el bienestar quedarían repartidos entre los productores y los consumidores. Las curvas de demanda presentarían una pendiente negativa; c) Otro supuesto es que la cantidad y la composición de la producción y de los factores productivos se mantienen constantes.

Y segunda, el bien o servicio ambiental interviene en la función de utilidad de un individuo o familia.

Es el caso en el que los bienes o servicios ambientales forman parte de la función de utilidad de las personas. En este caso la valoración tiene una gran dificultad, puesto que en la mayoría de las ocasiones los costes y beneficios son difíciles de cuantificar.

En la Tabla 3 se refieren unos ejemplos de la puesta en práctica de este modelo (todos ellos corresponden al caso de que en los bienes ambientales intervienen en funciones económicas):.

Método de Valoración Contingente.

Al contrario de los métodos anteriormente descritos, clasificados como métodos de valoración indirecta, el Método de Valoración Contingente (MVC) es un método directo de valoración.

La primera aplicación de este método se llevó a cabo por Robert K. Davis en el año 1963 realizando encuestas a cazadores y usuarios de los bosques de Maine, Estados Unidos, con la finalidad de obtener el valor económico de las posibilidades recreativas de esta zona.

La base analítica de este método se fundamenta en la teoría de la elección racional del consumidor, donde los individuos realizan decisiones de consumo que conllevan la maximización de su nivel de bienestar. También se asume que las preferencias de los consumidores se establecen tanto para bienes privados como para bienes públicos (Del Saz y Suárez, 1998).

Tabla 3. Aplicaciones del Método de los Costes Evitados o Inducidos

Autor	Objeto de estudio	Observaciones
Kim, S. y Dixon, (1986)	Recuperación de terrenos agrícolas.	Se valoraron los beneficios de estabilización y recuperación de terrenos agrícolas. Se procedieron a cuantificar una serie de costes (reposición del terreno, recogida, transporte, etc.) y junto al beneficio de evitar la salinización y la erosión componen los beneficios que permiten una vez computados elegir entre una u otra medida.
Sejenovich <i>et al.</i> (1991)	Ecosistema de los bosques andino-patagónicos, Río Negro (Argentina)	En este caso la valoración que se establece para este ecosistema equivale a los costes en los que habría que incurrir para sustituir las funciones ambientales que realiza el ecosistema.
Wu Huang, S. (1993)	Rentabilidad de las explotaciones de producción de peces y mariscos en Taiwan	Las explotaciones de producción de peces y mariscos provocan una utilización intensiva del agua procedente de acuíferos a coste cero. Este hecho genera una serie de perjuicios en la zona (hundimientos del terreno, intrusión de agua marina y pérdida de la calidad del agua). Para solucionar esta situación se establece un precio para el agua y este hecho produce que la rentabilidad económica de estas explotaciones se torne negativa en la mitad de ellas.
Gren, I., <i>et al.</i> (1994)	Humedal de Martebo, Isla de Gotland (Suecia)	En este trabajo el objeto de estudio es un humedal sobre el que se ha ejercido un drenaje excesivo. Se analizan los servicios perdidos que ha generado la degradación de este bien ambiental y su coste de sustitución, mediante una serie de tecnologías de sustitución en los casos en los que sí pueden reemplazar el servicio (p.ej. la diversidad de especies se da por perdida). Mediante el coste de la tecnología de sustitución podemos estimar el valor de los servicios perdidos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Aznar y Estruch (2012).

Partimos de la creación de un mercado artificial o hipotético para los bienes carentes de mercado. Para ello se realizan encuestas a los consumidores potenciales con la finalidad de obtener el montante económico que estarían dispuestos a pagar por un beneficio o lo que estarían dispuestos a recibir a modo de compensación por tolerar un coste. En este caso la oferta estaría representada por el entrevistador y la demanda por el entrevistado.

La encuesta se establece como el instrumento base utilizado para la recogida de datos. Está estructurada en un cuestionario que contiene variedad de preguntas con las que se pretende obtener de los individuos, beneficiados o perjudicados por un determinado proyecto, información relativa, sobre cuál sería el importe que estarían dispuestos a pagar (DAP) por un beneficio o lo que estarían dispuestos a recibir, a modo de compensación (DAC), por tolerar un costo (Pearce y Turner, 1995).

De acuerdo con Azqueta (1994) el cuestionario ha de ser estructurado en tres bloques y considerar los siguientes aspectos:

- En el primer bloque hay que disponer de información completa del bien o servicio ambiental que se va a valorar, así como de la modificación, ya sea de cantidad o calidad, que se produce en el mismo.
- En el segundo, considerar las series de precios con disposición a pagar o a recibir y de qué manera, es decir, el instrumento de pago que se utilizará (impuestos, subvenciones, una tasa mensual, etc.).
- Y en el tercero, se incluirán las características socioeconómicas del individuo entrevistado (renta, edad, estado civil, nivel de estudios).

La tabla 4 recoge algunas de las experiencias empíricas que se han realizado aplicando este método.

Tabla 4. Aplicaciones del Método de Valoración Contingente

Autor	Objeto de estudio	Año de estudio	Tamaño muestra	Tipo de encuesta	Vehículo de pago	DAP (€)
Riera, P. (1993)	Modificación tercer cinturón de Ronda de Barcelona	1989	264	Personal	Pago contribución especial	239,35
León, (1994)	Espacios naturales Gran Canarias		458	Telefónica	Donación	27,03
Júdez <i>et al.</i> (2001)	P. Natural Tablas de Daimiel	1995-96	366	Personal	Precio de entrada al parque	2,57
García de la Fuente, L. y Colina, A. (2004)	P. Natural de Somiedo (Asturias)	2003	318	Personal	Precio de entrada al parque	6,5
Del Saz Salazar, S. y Suarez, C. (1998)	P. Natural de L'Albufera (Valencia)	1995	501	Personal	Precio de entrada al parque	3,55
Tobarra-González, M. A. (2014)	P. Natural de Calblanque (Murcia)	2012	205		Precio de entrada al parque	21

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajos originales.

Las ventajas de este método son varias: los resultados se expresan en unidades monetarias, no se necesita una infraestructura estadística importante para su análisis, es un elemento flexible que permite delimitar los elementos, y definir el elemento de

pago de manera eficaz y, también permite, la obtención de gran cantidad de información que puede ser utilizada en otros estudios.

Como desventajas podríamos indicar, la necesidad de agudizar las condiciones del mundo real, puesto que no analiza el comportamiento real de los individuos encuestados. Los estudios en los que se usa este método son teóricos y generalmente la gente encuestada posee un escaso conocimiento de la metodología y el valor apropiado a obtener depende, en gran medida, de los derechos de propiedad que tenga la gente acerca de los recursos naturales que serán valorados (Dixon *et al.*, 1996).

Además, hay que tener en cuenta una serie de sesgos (del medio o vehículo de pago, del precio de partida, del entrevistador, de la información, de la hipótesis, operativos, etc.) a los que se enfrenta el método en su aplicación y que pueden condicionar los resultados (Pearce y Turner, 1995).

Conclusiones

El que los activos medio ambientales, así como los cambios que se producen en ellos afectan al bienestar de la sociedad, hace que su valoración económica adquiera suma importancia. De tal manera, esta valoración facilita fundamentalmente el poder acometer estrategias de gestión eficiente y un adecuado mantenimiento de estos activos. Por este motivo, la ciencia económica ha desarrollado una variedad de modelos de valoración que permiten obtener, si no los precios (por la no existencia de mercados en la mayoría de estos activos), si al menos unos valores aproximados que permiten establecer una utilidad de carácter económico a estos recursos ambientales, es decir, son un indicador de la importancia que tienen para la sociedad.

Entre las características que acompañan a estos bienes y servicios es necesario resaltar el hecho de que en la mayoría de los casos se producen externalidades (positivas o negativas) y el ser bienes de naturaleza pública. Estas dos particularidades hacen que se produzcan fallos de mercado. Por ello recurrimos a la metodología existente para intentar asignarles un valor monetario, sin embargo, tal y como hemos visto, aunque estos métodos se han aplicado a un número importante de estudios de la valoración medio ambiental durante las últimas décadas, no están exentos de presentar ciertas limitaciones y dificultades. Aun así, cada uno de ellos cumple con las expectativas y su validez esta previamente determinada. Esto no está reñido con la labor continuada por parte de los investigadores de seguir formulando y aplicando métodos que permitan alcanzar unos valores económicos cada vez más realistas de los recursos ambientales carentes de mercado.

Bibliografía

- Aznar-Bellver, J., Estruch-Guitar, J. A., 2012. Valoración de Activos Ambientales: teoría y casos. Universitat Politècnica de València.
- Azqueta, D., 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Edit. McGraw-Hill. Madrid.
- Barbier, E. B., Acreman, M., Knowler, D., 1997. Valoración económica de los humedales. Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención Ramsar, Gland, Suiza.
- Castillo, M. E., Sayadi, S., Ceña, F., 2008. El valor del uso recreativo del Parque Natural Sierra de María-Los Velez (Almería). Economía Agraria y Recursos Naturales 8, 2, 49-72.
- Court, A. T., 1939. Hedonic Price Indexes with Automobile Examples, en The Dynamics of Automobile Demand. General Motors, Detroit. 99-117.
- Del Saz Salazar, S., Pérez Pérez, L., 1999. El valor de uso recreativo del Parque Natural de L'Albufera a través del método indirecto del coste de viaje. Estudios de Economía Aplicada 11, 41-62.
- Del Saz Salazar, S., Suárez, C., 1998. El valor de uso recreativo de espacios naturales protegidos: aplicación del método de valoración contingente al Parque Natural de L'Albufera. Economía Agraria 182, 239-272.
- Dixon, J., Fallon, S., Carpenter, R., Sherman, P., 1996. Economic environmental impacts. Earthscan Ed.
- Freeman, A. M., 1979: The hedonic approach to measuring demand for neighbourhood characteristics, the Economics of Neighbourhoods. Academic Press.
- García de la Fuente, L., Colina, A., 2004. Métodos directos e indirectos en la valoración económica de bienes ambientales. Aplicación al valor de uso recreativo del Parque natural de Somiedo. Estudios de Economía Aplicada 22(3), 811-838.
- Gren, I. M., Folke, C., Turner, K., Bateman, I., 1994. Primary and Secondary Values of Wetlands. Environment and Resource Economics, 4, 55-74.
- Izquierdo, M., Matea, M.LL, 2004. Índices de precios hedónicos para ordenadores personales en España. Investigaciones Económicas XXVIII, 2, 377-396.
- Júdez, L., Ibáñez, M., Pérez, C., De Andrés, R., Urrzainqui, E., Fuentes-Pila, J., 2001. Valoración del uso recreativo de un humedal español. Test y comparación de diferentes métodos de valoración. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 192, 83-104.
- Kim, S., A Dixon, 1986. Economic valuation of Enviromental Quality. Aspects of Upland Agricultura Projects in Korea. En: Economic Valuation Techiques for the Environmental. A Case Study Workbook, Ed. J. A. Dixon y M. M. Hufschmidt. Baltimore. Johns Hopkins University Press.
- León, C. J., 1994. La valoración contingente del paisaje de los parques naturales del centro-occidente de Gran Canaria. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Liu, S., Costanza, R., Farber, S., Troy, A., 2010. Valuing ecosystem services: Theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. Annals of the New York Academy Sciences 1185, 54-78.
- Mäler, K. G., 1974. Environmental Economics: A Theoretical Inquiry. The Johns Hopkins University Press, Resources for the Future. Baltimore.
- Núñez, J. M., Ceular, N., Millán, G., 2007. Aproximación a la valoración inmobiliaria mediante la metodología de precios hedónicos (MPH). En: Conocimiento, innovación y emprendedores: camino al futuro, 2688-2701.
- Pearce, D. W., Turner, R.K., 1995. Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Celeste Ediciones. Madrid.
- Perza, G., 2010. Una primera aplicación de un modelo de precios hedónicos al vino catalán. Documentos de investigación del Programa de Doctorado en Economía Aplicada. Universidad Autónoma de Barcelona.

- Riera, P., 1993. Rentabilidad Social de las Infraestructuras: las Rondas de Barcelona. Editorial Cívitas. Madrid.
- Riera, P., Descalzi, C., Ruiz, A., 1995. El valor de los espacios de interés natural en España. Aplicación de los métodos de la valoración contingente y el coste del desplazamiento. *Revista Española de Economía*. Número monográfico sobre Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Riera, P., Farreras, V., 2004. El método del coste de viaje en la valoración de daños ambientales. Una aproximación para el País Vasco por el accidente del Prestige. *Ekonomiaz* 57, 68-85.
- Riera, P., García, D., Kriström, B., Brännlund, R., 2005. Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales. Ed. Thomson Editores Spain. España.
- Ridker, R., Henning, J., 1967. The Determinants of Residential Property Values with Special Reference to Air Pollution. *Review Economic Statistic*, 4, 246-257.
- Rosen, S., 1974. Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition *Journal of Political Economy*, 1, 35-55.
- Sarmiento, M. A., 2003. Desarrollo de un nuevo método de valoración ambiental. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sejenovich, H. C., Acurso, O., Corvalan, I., Gómez, J., Herrera, E., Lueccesole, M., Makok, Suárez, C., 1991. Las cuentas del patrimonio natural de un ecosistema andino-patagónico de la provincia del Río Negro, Argentina. *Inventarios y cuentas del patrimonio natural de América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Soriano, A., 2011. Estimación del valor recreativo del parque regional de Sierra Espuña a partir del método del coste de viaje zonal sin equidistancia. Recuperado de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/1853>
- Tobarra-González, M. A. 2014. Valoración del Parque Natural de Calblanque y tratamiento de respuestas protesta. *Economía Agraria y de Recursos Naturales* 14 (1), 57-80.
- Tranchez, J. M., 2000. Características de la vivienda determinantes de su valor de mercado: una aproximación utilizando el modelo de precios hedónicos. VII Encuentro de Economía Pública. Zaragoza.
- Wu Huang, S. 1993. Estructural Change in Taiwan's Agricultural Economy. *Economic Development and Cultural Change* 42, 1, 43-65.

P03 - Metodología para evaluar el impacto visual de viviendas en el entorno rural y contribuir a su adecuada ubicación y diseño

Jeong, J.S.¹, Montero-Parejo, M.J.², García-Moruno, L.¹ y Hernández-Blanco, J.²

¹ Dpto. de Expresión Gráfica, Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura, Calle Santa Teresa de Jornet 38, 06800 Mérida, e-mail: jin@unex.es; ² Dpto. de Expresión Gráfica, Centro Universitario de Plasencia, Universidad de Extremadura, Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia

Resumen

El modo en que el área rural es presentada en el contexto de segundas residencias constituye un ejemplo de consumo de post-producción. Debido a la reactivación económica, el recorrido que tienen en España estas residencias es muy positivo, y podría ser visto como un factor clave para revertir el devenir rural. Sin embargo, debido al alto grado de dispersión geográfica y diversidad de colorido de las fachadas de residencias introducidas en la Extremadura rural, han tenido efectos negativos en relación a su integración con el paisaje. El objetivo de este trabajo es presentar una metodología capaz de determinar y predecir el impacto visual que una segunda vivienda podría producir en un entorno rural. Este trabajo presenta el desarrollo de un marco metodológico para la selección de la ubicación de segundas residencias y evaluación del color de la fachada, aplicado a la zona de Hervás, Valle del Ambroz, en España. La evaluación de impacto visual (EIV) que se propone en esta metodología constituye una técnica clara y objetiva. Está basada en un análisis espacial multi-criterio y tratamiento fotográfico asistido por ordenador con un inventario de las nuevas edificaciones residenciales construidas durante los últimos diez años. Los resultados demuestran que el objetivo de este estudio no sólo consiste en encontrar una única solución adecuada, sino además explican una posible herramienta para la toma de decisiones de carácter flexible, lo que constituye su principal fortaleza. Como resultados finales de esta investigación, se presenta la validación de esta metodología, que podría ser utilizada como una herramienta práctica de EIV, y en última instancia, lograr el desarrollo sostenible de los entornos construidos. Por otra parte, este modelo podría ser utilizado como una herramienta de referencia para los actores locales, siendo posible incluir diferentes contextos territoriales, construcciones tipos, parámetros ambientales y usos del suelo.

Palabras clave: ordenación del territorio, selección color de fachada, toma de decisiones, desarrollo sostenible

Methodology to evaluate the visual impact of rural homes for contributing to their proper location and design

Abstract

How rural is presented in the context of second homes is representing an example of post-production consumption. Due to economic renewal, holiday and second homes in Spain have a positive stance, which could be seen as an essential element to changing rural communities' fortunes. However, their scattered location and nonmatching façade color were brought in rural Extremadura, influencing to the poor aesthetic integration into the landscape. The goal of this work is to show a methodology, which can choose and predict the visual impact that a second home could cause in a rural setting. The current study informs of a methodological framework development for a second home location selection and its façade color assessment: applied to Hervás, Ambroz Valley region, Spain. The visual impact assessment (VIA) proposed in the methodology is a clear and objective method. It is based on a multi-criteria spatial analysis and computer-aided photographic treatment with an inventory of new residential buildings constructed during the last ten years. The study results demonstrate that the objective of the study is not to find a single appropriate answer, but to clarify feasible decision-making tool with the flexibility strengths. The final results of this work are the validation of this methodology, which could be used as a practical and useful tool for VIA, ultimately completing sustainable development of built environments. Furthermore, this tool could be used as a reference model for local stakeholders,

being possible to involve different territorial contexts, constructions types, environmental issues and land uses.

Keywords: spatial planning, façade color selection, decision-making, sustainable development

Introduction and Justification

The representation of post-productive consumption is presented as rural second home context that is a commonly occurring trend (Gallent and Tewdwr-Jones, 2000; Jeong *et al.*, 2014b; Pitkänen and Vepsäläinen, 2008). In Spain, holiday and second housings have a positive position due to the economic reactivations. It can be seen as an essential element to reversing rural communities' fortunes (Jeong *et al.*, 2013; Suffolk County Council Policy Unit, 2004). However, the scattered location and façade color of man-made construction are nonmatching with the surroundings that were brought in rural Extremadura along with the growth of recreational potentials and human movements (Jeong *et al.*, 2013; Montero-Parejo *et al.*, 2013). It was influencing to the poor aesthetic integration into the landscape. Because of these circumstances, the local environment quality improvements based on growing ecological interests and cultural heritages are necessary to increase the visual attraction and to enhance the aesthetic and recreational values of its environments (Domingo-Santos *et al.*, 2011; Zhang and Lei, 2012).

Several studies have explored the visual impact of new buildings' appearance in a rural landscape (Garcia *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2004; Jeong *et al.*, 2013; Montero-Parejo *et al.*, 2013; Ruda, 1998). These researches have referred some distinguished features, explaining key correlation characteristics (Di Fazio, 1988; Schmitt, 2003; Smardon, 1979). Among their aspects, the relationship between a building and its surrounding landscape usually depends more on the suitable location choice than on any other weighted factors (Hernández *et al.*, 2004; Jeong *et al.*, 2013). Accordingly, color such as a significant architectural part is open to become a major representative element in design process (Español, 1995; Garcia *et al.*, 2003). In the experimental study design, however, they are not deeply included as their relationship analyses and potential interactions with other components. Therefore, we will simply concentrate on the right selection of location and color in a rural home that will influence the integration into its surrounding.

This research is to describe a new methodology that determine and predict the visual impact of a scattered rural second home. This methodology is based on the visual impact assessment (VIA) taking into account a combination of techniques including multi-criteria spatial analysis and computer-aided photographic treatment: applied to Hervás, Ambroz Valley region, Spain. The VIA proposed here is a clear and objective method. Also, it can explain different decision alternatives and patterns before new constructions in that area, which can evaluate a reasonable method of planning and design suitability with its integration. The VIA study is a part of the environmental impact assessment study annexed to civil, rural or territorial engineering projects in Spain and other countries. The final result of this work is the generation and validation of this methodology, which could be used as a practical tool for the VIA, ultimately accomplishing sustainable development of built environments.

Material and Methods

For the study presented here, the selected case study area is Hervás, situated in the northeastern area of Extremadura province, Spain. The target area is one of eight municipalities as the following: Abadía; Aldeanueva del Camino; Baños de Montemayor; Casas del Monte; La Garganta; Gargantilla; Hervás; and Segura de Toro. This area has already been the subject of in-depth works targeted at its comprehensive characterization (Jeong *et al.*, 2012, 2013, 2014a, 2014b; Montero-Parejo *et al.*, 2013), which has substantiated the purposes of this study.

Particularly, the housing data demonstrates the transitional phenomenon of total formal and second homes as shown in Figure 1. That indicates that formal and second homes have been increased together with the population, whereas empty homes have been decreased (INE, 2011). Thus, an inventory of the residential buildings constructed in the case study area was examined with an emphasis on multi-criteria spatial analysis and computer-aided photographic treatment, the period from 1998 to 2008, extracted from the ministry of agriculture, fisheries and food (MAFF) (Montero-Parejo, 2008).

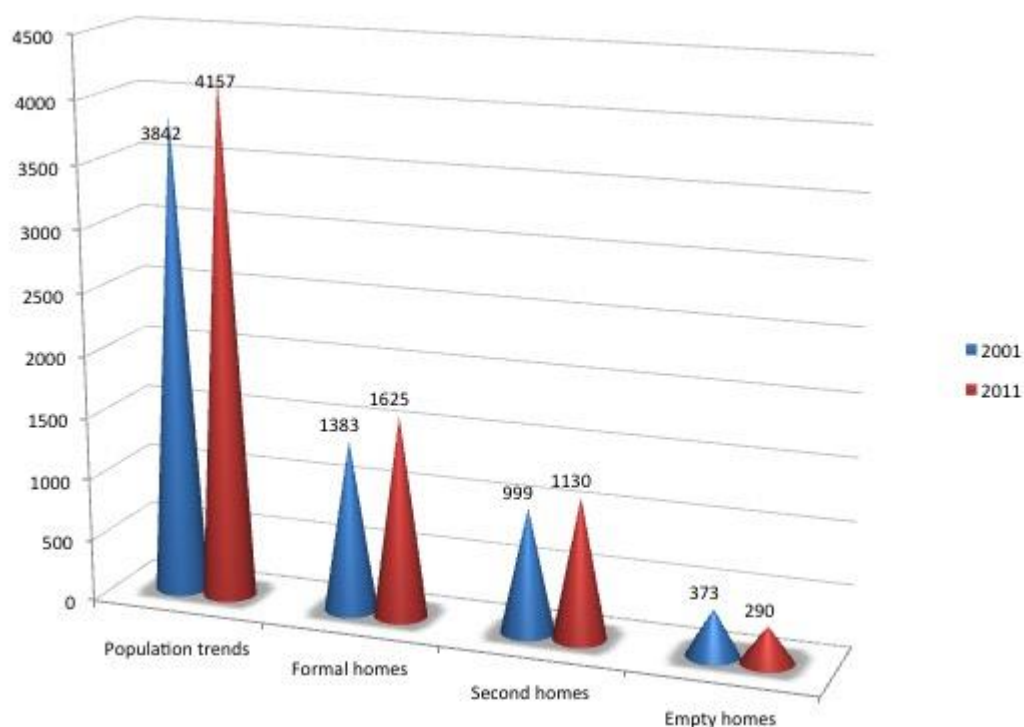


Figure 1. Housing data and population in the chosen case study area

In this research, the VIA determines whether the residential buildings from the inventory can be situated along with multi-criteria spatial analysis. With computer-aided photographic treatment, it can be investigated in their color theme. Regarding with location selection, such determination takes into account three criteria (physical, environmental and socio-economic) and twelve sub-criteria (visibility, land use, morphology, orientation, vegetation type, sensitive ecosystem, surface water, water source, population density, settlement, site access and tourism resource). Next, regarding with CI assessment to be set in the landscapes, such determination takes into account two factors: comparing the mean of hue (H), saturation (S) and brightness (B) of

colors between the building and the most dominant feature in the surroundings; and the internal contrast of the building against the background. The following process evaluating how seven selected buildings are well planned and designed and considering the landscape is described in the results and discussion section.

Results and Discussion

The final VIA of the two methods aforementioned describes the suitability of the selected seven residential buildings, identified in the area of Hervás, Spain. The analyzed results were derived from the multiplication of the previous three criteria, twelve sub-criteria and their computed constraints, and the calculation of color impact (CI) comparison with the buildings. They represent the suitable manner to dissolve the visual impact problem of possible new second homes.

The results of spatial planning represent their suitability in the study area: here it can be found out that only three buildings (R3, R4 and R5) are included in the best-ranked group (suitability index 10 to 9) and the rest of them are located in the middle-ranked group (suitability index 8 to 3) (see Figure 2). The selected seven buildings are not located in the worst-ranked group (suitability index 2 to 1). Besides, as depicted in Figure 2, the most appropriate areas describe in the color of dark blue with suitability index 10 to 9 (12.9%) and the least appropriate areas demonstrate in the color of dark brown with suitability index 2 to 1 (8.6%).

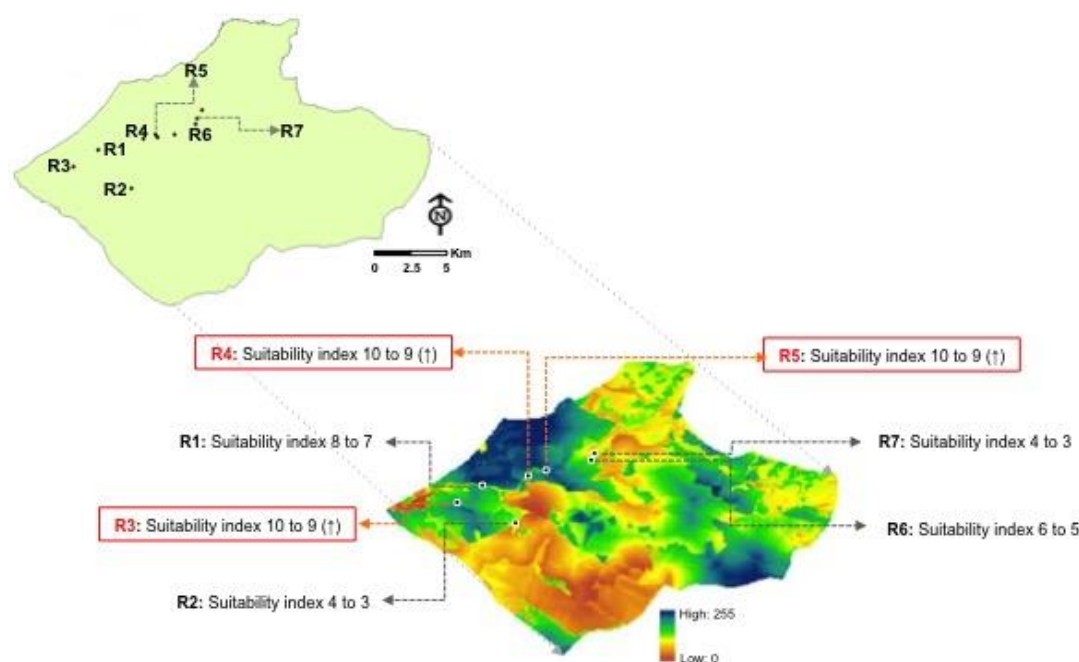


Figure 2. Analyzed suitability map for evaluating the seven residential buildings in the case study area: the most suitable area to the least suitable area (indicating as dark blue to dark brown color)

Subsequently, as we can see in Table 1, the results of the CI assessment as an arrangement comparison explain the suitability of the selected seven residential buildings with different CI. Typically, high CI values (>3) were notably worse rated than low values ($CI < 3$). Amongst seven scenarios, five scenarios are adequate (CI is 1 or 2), R1, R2, R3, R6 and R7. Two scenarios, however, describe that CI is 3 and 4 such as

indicating not adequate: R4 is necessary to do roof color modification; and R5 is required to do façade color modification to be both the adequate CI (see Table 1).

Table 1. The results of CI evaluation for the selected seven residential buildings

Nr.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
CI	2	2	1	3	4	1	1

Lastly, as shown in Figure 3, the color studies based on the previous suitability map were depicted. Here, two unacceptable buildings were located in the best-ranked group: R4-1 and R5-1 are the possible modified images to get suitable CI that give less visual impact integrating well into the environments. Overall, only residential building R3 was the most suitable integration into its surroundings considering spatial location and façade color design.

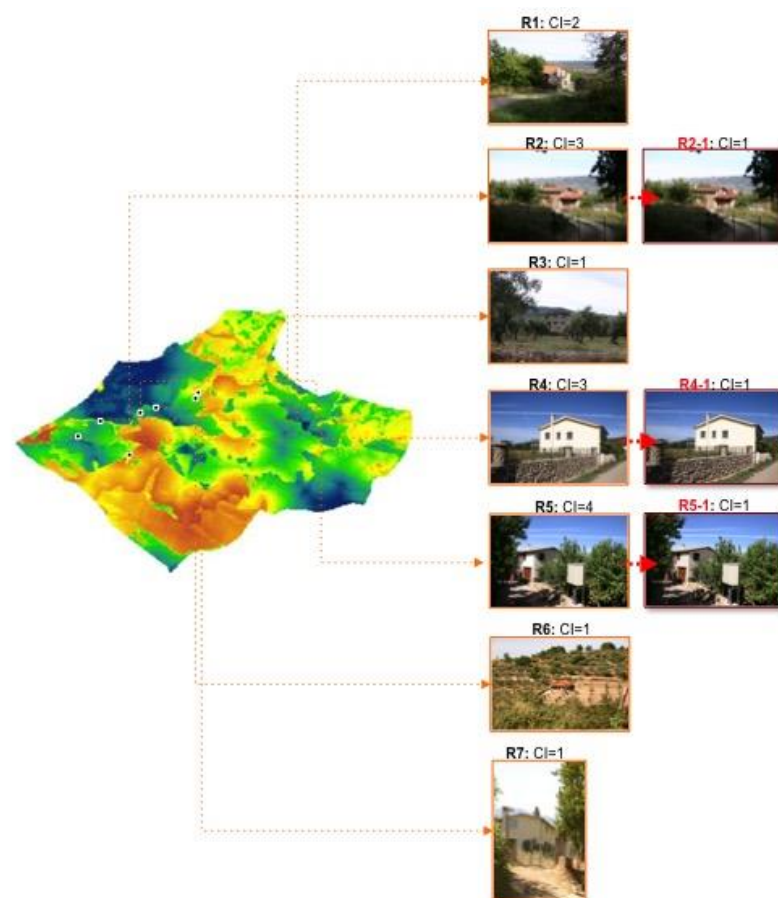


Figure 3. Color impact evaluation of the seven studied buildings and their suggestions for obtaining the high color impact

Conclusions

The research proposed here reports on a methodological framework development for a second home site selection and its façade color assessment based on the combination of the multi-criteria spatial analysis and computer-aided photographic treatment. The aim of this work is to show a new methodology that determine and predict the visual impact of a scattered rural second home. The VIA proposed methodology is a clear and objective technique, based on a multi-criteria spatial analysis and computer-aided

photographic treatment taking into account an inventory of new residential buildings constructed in the study area during the last ten years.

By evaluating the seven residential buildings, the proposed methodology demonstrated their suitability: three buildings (R3, R4 and R5) are in the most suitable area (suitability index 10 to 9); and five buildings (R1, R2, R3, R6 and R7) have lower CI. Only residential building R3 satisfied the objectives of the proposed methodology. Through the results obtained, it can be explained the different decision alternatives and patterns before new constructions in that area. These suggestions can evaluate a reasonable method of planning and design suitability with its integration.

The VIA study is a part of the environmental impact assessment study annexed to civil, rural or territorial engineering projects in Spain and other countries. The final result of this work is the generation and validation of this methodology, which could be used as a practical tool for the VIA, ultimately accomplishing sustainable development of built environments.

References

- Di Fazio, S., 1988. La progettazione dell'edilizia rurale nei suoi rapporti con il paesaggio. (The design of rural buildings in its dealings with the landscape). *Rivista di Ingegneria Agraria* 10, 379-385.
- Domingo-Santos, J.M., Fernández de Villarán, R., Rapp-Arrarás, I., Corral-Pazos de Provens, E., 2011. The visual exposure in forest and rural landscapes: an algorithm and a GIS tool. *Landscape and Urban Planning* 101(1), 52-58.
- Español, I., 1995. Impacto ambiental (Environmental impact). E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Gallent, N., Tewdwr-Jones, M., 2000. Rural second homes in Europe - examining housing supply and planning control. Ashgate, Aldershot, Hampshire, UK.
- García L., Hernández J., Ayuga F., 2003. Analysis of the exterior colour of agro-industrial buildings: a computer aided approach to landscape integration. *Journal of Environmental Management* 69, 93-104.
- García, L., Hernández, J., Ayuga, F., 2006. Analysis of the materials and exterior texture of agro-industrial buildings: a photo-analytical approach to landscape integration. *Landscape and Urban Planning* 74, 110-124.
- Hernandez, J., García, L., Ayuga, F., 2004. Assessment of the visual impact on the landscape by new buildings: a methodology for site selection. *Landscape and Urban Planning* 68, 15-28.
- INE, 2011. Instituto nacional de estadística (National statistical institute). <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft20%2Fe260%2Fa2011%2F&file=pcaxis&N=&L=0> (accessed 09.08.14).
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., 2012. Integrating buildings into a rural landscape using a multi-criteria spatial decision analysis in GIS-enabled web environment. *Biosystems Engineering* 112 (2), 82-92.
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., 2013. A site planning approach for rural buildings into a landscape using a spatial multi-criteria decision analysis methodology. *Land Use Policy* 32, 108-118.
- Jeong, J.S., Hernández-Blanco, J., García-Moruno, L., 2014a. Approaches to validating a mutual participatory web-planning interface in rural Extremadura (Spain). *Land Use Policy* 39, 211-223.
- Jeong, J.S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., Jaraíz-Cabanillas, F.J., 2014b. An operational method to supporting siting decisions for sustainable rural second home planning in ecotourism sites. *Land Use Policy* 41, 550-560.

- Montero-Parejo, M.J., 2008. Criterios técnicos de aplicación legal para la integración de las construcciones en el paisaje (Technical criteria of legal application for the integration of the buildings in the landscape). Ph.D. Thesis, Universidad of Extremadura, Plasencia, Spain.
- Montero-Parejo, M.J., García-Moruno, L., López-Casares, S., Hernández-Blanco, J., 2013. Visual impact assessment of colour and scale of buildings on the rural landscape. *Environmental Engineering and Management Journal*, accepted.
- Pitkänen, K., Vepsäläinen, M., 2008. Foreseeing the future of second home tourism. Case Finnish media and policy discourse. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 8, 1-24.
- Ruda, G., 1998. Rural buildings and environment. *Landscape and Urban Planning* 41, 93-97.
- Schmitt, H., 2003. Landschaftbezogenes bauen in Baden-Württemberg (Landscape-related buildings in Baden-Württemberg). *Landtechnik* 2, 88-89.
- Smardon, R.C., 1979. Prototype visual assessment manual. State University of New York, Syracuse.
- Suffolk County Council Policy Unit, 2004. Second homes and affordable housing in Suffolk. Suffolk County Council, Ipswich.
- Zhang H., Lei, S.L., 2012. A structural model of residents' intention to participate in ecotourism: the case of a wetland community. *Tourism Management* 33, 916-925.

P04 - Comparación del valor económico del arbolado urbano mediante encuestas con fotografías en dos estaciones del año.

Sánchez-Medina, A.¹; García-Ventura, C.², Ayuga-Téllez, E.¹,

¹ Buildings, Infrastructures and Projects for Rural and Environmental Engineering (BIPREE). Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040- Madrid. E-mail: alvaro.sanchezdemedina@upm.es; esperanza.ayuga@upm.es.; ² Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040-Madrid. E-mail: cgventura@gmail.com.

Resumen

El arbolado urbano es un bien de dominio público que constituye una parte importante del patrimonio de la ciudad. En este trabajo se ha planteado como objetivo analizar la influencia de la estación del año en la valoración económica de diferentes árboles de la ciudad de Madrid. Se han utilizado fotografías de 43 ejemplares en las estaciones de primavera/verano y otoño/invierno. La encuesta se diseñó para contrastar las diferencias del público en cuanto a la opinión sobre el valor económico de los ejemplares. Se tasaron los ejemplares mediante 8 métodos de valoración empleados en diferentes lugares del mundo, entre ellos la Norma Granada, reglamentaria para el arbolado del Ayuntamiento de Madrid. La encuesta se realizó en papel, después de una presentación inicial a 57 alumnos universitarios del área agroforestal. Cada ejemplar se mostró con un número de identificación, la fotografía y las opciones múltiples en un lateral de la foto. Las variables consideradas fueron el porcentaje de estudiantes que valoraron igual el mismo ejemplar, el de estudiantes que valoró más el ejemplar con la foto de primavera/verano y el porcentaje de alumnos que valoró más el ejemplar con la foto de otoño/invierno. Los resultados se analizaron mediante test estadísticos de igualdad de proporciones y mediante análisis ANOVA para detectar diferencias según el tipo de árbol (hoja perenne o caduca) y especie. Los resultados mostraron porcentajes similares de estudiantes para las variables analizadas. El análisis ANOVA permite rechazar que se valoren de la misma forma ejemplares de hoja caduca que de hoja perenne. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en la valoración de ejemplares de la especie con menor valor económico en todos los métodos analizados. Los resultados obtenidos sugieren ampliar la muestra de personas encuestadas y quizás, simplificar el cuestionario.

Palabras clave: tasación, arboles urbanos, opinión pública, fotografía, primavera-invierno..

Comparison of the economic value of urban trees through surveys with photographs in two seasons

Abstract

Urban Trees is mostly a public asset that constitutes an important part of the City heritage. In present work the goal is to analyze the influence of season in the economic appraisal of different trees in Madrid City. Digital photographs from 43 individuals were taken in spring/summer and in autumn/winter seasons. Survey was designed to compare people differences in the opinion about the economic assessment of trees. Trees were assessed by 5 valuation methods used worldwide, including Norma Granada method, which is obligatory for the urban trees of Madrid City. The survey was made in writing after a starting presentation by 57 students coming from the Agroforestry. Each tree was showed with an identification number, a photograph and a multiple-option table in the side. Considered variables were: percentage of students that had the same valuation for the same tree, percentage of students who gave more value with the spring/summer photograph, and percentage of students who gave more value with the autumn/winter photograph. Results were analyzed by statistical test of equal proportions and by ANOVA analysis to detect differences according to tree type (evergreen or deciduous tree). Results show similar percentages of students regarding to different assess criteria. ANOVA analysis reject that evergreen trees and deciduous trees can be assessed in the same way. Statistically significant differences were achieved in assessing individuals from the species with the least economic

value. The obtained results require increasing the sample of respondents and maybe, simplifying the survey.

Keywords: appraisal, urban trees, public opinion, photography, spring-winter.

Introducción y/o Justificación

Los métodos de valoración del arbolado urbano aportan una referencia económica o monetaria de los valores que este ofrece al ciudadano. También deben reflejar otros factores como el valor del suelo en el que se ubican, importancia histórica, calidad, beneficios sociales y medioambientales, y los costes de mantenimiento que conllevan.

Por tanto, la valoración debe ser una de las bases que se deben emplear para la toma de decisiones en su gestión. En otras palabras, hay que considerar la valoración como un instrumento para la administración y para la propia sociedad.

La valoración del arbolado urbano no se caracteriza por ser precisa, ya que depende del objetivo de la valoración y del nivel de experiencia del evaluador (Ponce, 2012). En la mayoría de los “métodos comúnmente utilizados”, el valor se define monetariamente con base en la percepción que el “experto” tiene del árbol, que para estos propósitos, la valoración pasa por establecer un criterio mensurable y objetivo, considerando aspectos o variables tales como si se encuentra solo o en grupo, el deterioro físico, especie y variedad, tamaño, edad, estado y ubicación, entre otras variables, que pueden llegar a intervenir (Caballer, 1999).

El arbolado proporciona múltiples beneficios a los ciudadanos, tanto ambientales (Jim y Chen, 2009) como psicológicos (Sugiyama *et al.*, 2008; Laforzezza *et al.*, 2009). La presencia de arbolado ya sea en grupos, en espacios verdes o en alineaciones, es considerada como esencial para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Teniendo en cuenta la gestión que se lleva a cabo en una región, se reconoce en general por los ecólogos, paisajistas, ingenieros ambientales, economistas y sociólogos ambientales (Sewell, 1973, 1974; Grumbine, 1994; Christensen *et al.*, 1996; Pavlikakis y Tsihrantzis, 2001, 2003) que el factor social juega un papel muy importante en el arbolado urbano.

Los métodos de valoración de arbolado urbano proporcionan a los ciudadanos una referencia económica o monetaria. Además reflejan otros factores como el valor del suelo, calidad, beneficios sociales y medioambientales así como los costes de mantenimiento.

Por lo tanto la valoración debe ser una de las bases a emplear para la toma de decisiones en la gestión del arbolado urbano. Varios autores han llevado a cabo estudios sobre comparación de métodos de valoración de arbolado urbano. Watson (2002) y Ponce *et al.* (2009), entre otros, han empleado los mismos métodos que en éste trabajo. En una línea similar a los anteriores se puede destacar el trabajo Hegedüs *et al.* (2011). Más recientemente, López y López (2013), y García-Ventura (2013) realizan comparaciones de distintos tipos de métodos de valoración, paramétricos y económicos.

Elegimos utilizar fotografías como sustitutos para el arbolado real. A pesar de que algunos estudios indican escasa validez de la representación fotográfica (Zube *et al.*, 1974; Kroh y Gimblett, 1992), la mayoría de los estudios muestran que las fotografías

pueden ser utilizadas como un sustituto válido para los juicios estéticos (Shafer y Richards, 1974; Shuttleworth, 1980; Kane, 1980; Palmer and Hoffman, 2001).

El objetivo de este trabajo es conocer través de encuestas realizadas a un grupo de población si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores económicos calculados con diferentes metodologías de valoración, elegidos, a través de fotografías tomadas en diferentes estaciones del año.

Material y Métodos

Área de estudio

La construcción de la Escuela de Ingeniería de Montes en la Ciudad Universitaria (Madrid) se llevó a cabo entre 1942 y otoño de 1945. El proyecto original contemplaba la creación de un entorno agradable que sirviera para la docencia. La ejecución del proyecto fue dirigida por Luis Ceballos. La superficie de la Escuela es de 8,57 ha con una superficie arbolada de 7,62 hectáreas (Navio, 2003).

Ese espacio verde se diseñó para cumplir dos requisitos: contribuir a la regeneración forestal de la Ciudad Universitaria y mostrar a los estudiantes las especies forestales de interés. Este espacio cuenta con una alta diversidad (400 especies arbóreas inventariadas).

En el arboreto se encuentran inventariados 2.978 individuos correspondientes a 129 especies diferentes de árboles repartidas en 45 zonas diferentes en composición y superficie (Pérez, 2013).

Diseño de la encuesta

En la encuesta elaborada se muestran fotografías de 43 ejemplares, tomadas por la misma persona, cámara digital y desde el mismo punto en las dos estaciones de primavera/verano (P/V) y otoño/ invierno (O/I). Dichos ejemplares provienen del inventario del arboreto (Pérez, 2013) y de los seleccionados posteriormente para estimar la valoración de dicho espacio (García-Ventura, 2013)

De los 43 ejemplares seleccionados, 27 pertenecen a especies de hoja perenne y 16 a especies de hoja caduca. Para la selección de estos 43 árboles se realizaron cuatro grupos, en función de otras características, según los datos obtenidos de García-Ventura (2013): especies con menor valor económico en todos los métodos analizados (7 ejemplares), especies con mayor valor económico en todos los métodos analizados (7 ejemplares), especies más abundantes en la ciudad de Madrid (22 ejemplares) y del grupo denominado como árboles singulares, 7 ejemplares.

En la Tabla 1 se muestra el conjunto de ejemplares y sus características. En los ejemplares de la especie *Platanus hybrida* se mostró un ejemplar repetido en la serie fotográfica para validar los resultados generales de la encuesta, por eso aparecen 8 individuos de la especie.

Métodos de valoración empleados

La encuesta se diseñó para contrastar las diferencias del público en cuanto a la opinión sobre el valor económico de los ejemplares. Se tasaron los ejemplares mediante 8 métodos de valoración diferentes empleados en diferentes lugares del mundo. Grande-Ortiz, Ayuga-Téllez y Contato-Carol (2012) presentan un análisis de numerosos

métodos de tasación de arbolado urbano, entre los que se encuentran las fórmulas de valoración y una descripción detallada de los siguientes métodos:

Tabla 1. Ejemplares seleccionados

Especie	Tipo de hoja	Grupo	Número de ejemplares
<i>Cupressus arizonica</i>	perenne	muy frecuente en Madrid	7
<i>Pinus pinea</i>	perenne	muy frecuente en Madrid	7
<i>Platanus hybrida</i>	caduca	muy frecuente en Madrid	8
<i>Quercus suber</i>	perenne	valor económico máximo	7
<i>Ailanthus altissima</i>	caduca	valor económico mínimo	7
<i>Cedrus deodara</i>	perenne	singular	1
<i>Pinus halepensis</i>	perenne	singular	1
<i>Chamaerops humilis</i>	perenne	singular	1
<i>Eucalyptus globulus</i>	perenne	singular	1
<i>Populus bolleana</i>	caduca	singular	1
<i>Quercus canariensis</i> ^(*)	perenne	singular	1
<i>Sequoiadendron giganteum</i>	caduca	singular	1

(*): En el caso de *Quercus canariensis*, especie de hoja marcescente, se clasifica para el análisis estadístico como de hoja perenne ya que no se aprecian diferencias entre fotografías de primavera/verano (P/V) y otoño/invierno (O/I).

CTLA (CTLA, 2000). El método Norteamericano dio lugar a la idea de un "valor base" como expresión del precio unitario de una sección del tronco, y emplea índices correctores para mantener o reducir este valor, pero nunca aumentar.

Burnley (Moor, 1991). El método utiliza el tamaño del árbol (medido como el volumen de un cono invertido) y un valor monetario, denominado valor base. El valor es modificado por factores que podrían reducir el valor base. Se emplea en Australia.

Norma Granada (AEPJP, 2007). En las primeras versiones de este método, el valor básico se obtuvo para cada especie con un modelo de regresión basado en la edad del árbol. Tras la última revisión, el método utiliza la circunferencia del tronco (1 m del suelo), modificado por valores intrínsecos y factores extrínsecos. Se emplea en España.

Método Contato (Contato, 2008). Propone la aplicación de un sistema que combina los índices de capitalización y paramétricos. El valor base de cada árbol se calcula a partir de su edad, utilizando la fórmula de capitalización y se modifica con factores correctores multiplicativos que pueden aumentar o disminuir el valor. Empleado en Argentina.

Método Copima (Ponce, 2012). Se emplea en las Municipalidades de Concepción, La Pintana y Maipú (Chile). Se basa en el precio de la especie en el mercado local corregido por índices multiplicativos que aumentan el valor del ejemplar.

Método de Capitalización. Hay dos métodos básicos de capitalización: valor basadas en los costes de reposición y el valor en base a los costes de mantenimiento (Caballer, 1999).

Fórmula de Expertos (FEM) (Jim, 2006). Selecciona seis criterios principales (dimensión, especie, árbol, estado, ubicación, y la consideración excepcional) El valor monetario del árbol es el resultado de multiplicar la puntuación total de los criterios principales de un árbol por un factor de asignación monetaria (MAF). Este factor se deriva del precio de venta promedio de tres años por m² de viviendas residenciales de tamaño medio. Utilizado para árboles de Hong-Kong.

Método STEM (Watson, 2002). Este método de es uno de los más utilizados. El método utiliza un sistema de puntos para evaluar 20 atributos de árboles en tres categorías generales de estado, funciones y cualidades notables (mérito especial). La puntuación total (P, con un máximo de 540 puntos) se multiplica por el coste al por mayor de un árbol de cinco años de edad (sin indicación de especificidad de la especie). A esto se suma el coste al por mayor de plantar el árbol y el coste de mantener el árbol hasta que llega a una edad adecuada.

Realización de la encuesta

La encuesta con fotografías de cada estación del año, se realizó en papel, formato A4, y constaba de 5 páginas; en la primera se realizaban cuestiones sobre el encuestado como sexo y rango de edad (18-30, 30-45, 45-60 o más de 60 años). En las siguientes páginas se incluían cada ejemplar con un número de identificación, la fotografía y en el lateral derecho las opciones múltiples, es decir, las valoraciones en euros obtenidas con los diferentes métodos empleados, ordenadas de menor a mayor como se muestra en la Figura 1.







ID: 10	Valor (€)	ID: 321	Valor (€)	ID: 358	Valor (€)
	47 112 119 304 499 809 84.264 177.601		2.825 3.570 8.757 12.766 15.407 18.900 79.071 989.904		5.832 7.258 14.845 53.917 83.762 104.848 175.116 2.424.146
<i>a) Fotografías de P/V</i>					
ID: 10	Valor (€)	ID: 321	Valor (€)	ID: 358	Valor (€)
	47 112 119 304 499 809 84.264 177.601		2.825 3.570 8.757 12.766 15.407 18.900 79.071 989.904		5.832 7.258 14.845 53.917 83.762 104.848 175.116 2.424.146
<i>Fotografías de O/I</i>					

Figura 1. Vista de cómo se mostraron en la encuesta tres de los ejemplares presentados para su valoración mediante fotografías tomadas en P/V (Primavera/Verano) (a) y O/I (Otoño/Invierno) (b)

Tras una presentación inicial en la que se indicaron los objetivos de la encuesta así como unas breves instrucciones para completarla, se entregó a alumnos de la Escuela de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Madrid correspondientes al 1^{er} de grado de Ingeniería Forestal y al Master de Ingeniero de Montes. Se contó en total con la opinión de 57 estudiantes.

Métodos estadísticos

Tras obtener las 57 encuestas completas, los datos se incluyeron en una base de datos empleando el programa Excel, para su posterior procesamiento estadístico con el programa Statgraphics Centurion. Para cada uno de los estudiantes que seleccionaron un valor económico para el mismo ejemplar con ambas fotos, se calculó la diferencia de valor entre el asignado con la foto correspondiente a primavera/verano (P/V) y el elegido con la foto correspondiente a otoño/invierno (O/I).

Se contabilizaron los estudiantes que asignaron el mismo valor al mismo ejemplar, más valor en O/I y más valor económico al ejemplar en P/V, obteniendo la proporción de estudiantes para cada caso. Estadísticamente se analizaron los datos empleando dos herramientas:

- El test de la T para muestras pareadas

Se compararon las variables proporciones de estudiantes por cada ejemplar. La hipótesis nula fue la igualdad de proporciones frente a la alternativa contraria. Se verificó la hipótesis de que las variables pueden tener una distribución Normal con el test de Saphiro-Wilks.

- El análisis ANOVA simple:

Para la comparación de las valoraciones obtenidas se consideraron las variables proporción de estudiantes que asignaron el mismo valor al mismo ejemplar, más valor en O/I y más valor económico al ejemplar en P/V. Los factores fueron la especie, el tipo de hoja y el grupo. La hipótesis nula fue la igualdad de proporciones para los distintos niveles de factores. Se comprobó la igualdad de varianzas entre niveles de los factores con el test de Levene. Para obtener los niveles con diferencias estadísticamente significativas se utilizó el test de rangos múltiples con límites mediante LSD de Fisher. En todos los test estadísticos se empleó un nivel de significación del 5%.

Resultados y Discusión

Para la proporción de estudiantes que asignaron el mismo valor al mismo ejemplar, más valor en O/I y más valor económico al ejemplar en P/V se obtiene la mediana y el rango intercuartílico (RIQ) de los tres diferentes tipos de valoración mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Estadística descriptiva de comparación de valoraciones de estudiantes

Parámetro	Igual	Más valor O/I	Más valor P/V
Mediana	15	18	21
RIQ	5	6	7,5

Hasta el 50% de estudiantes valoró de la misma forma 15 ejemplares o menos, de los 43 mostrados. Dieron más valor a un máximo de 18 ejemplares en su imagen de O/I y

el 50% de estudiantes valoraron más en su imagen de P/V como máximo 21 ejemplares. Los valores similares de RIQ permiten deducir similares distribuciones de valores alrededor del valor de la mediana. En el gráfico de sectores de la Figura 2 se resume la diferencia entre las valoraciones de los estudiantes, siendo mayor el número de estudiantes que asignan más valor a los ejemplares en las fotos de P/V (38%) y el menor número de estudiantes que asignan la misma valoración (28%).

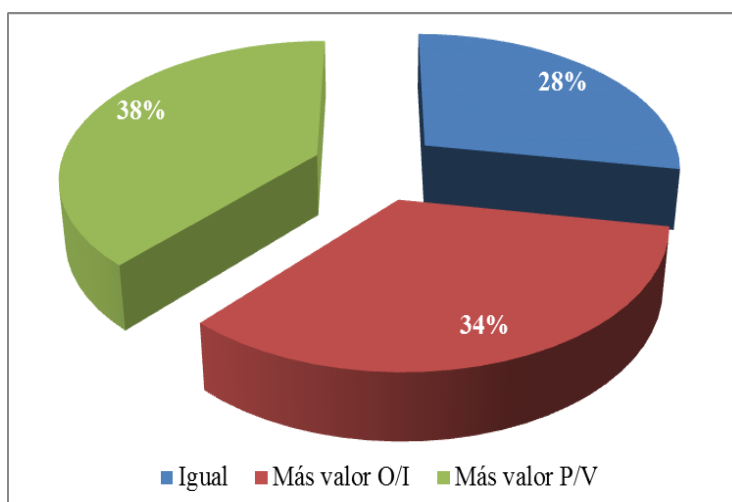


Figura 2. Porcentaje de estudiantes según las diferencias mostradas en la valoración.

Es lógico suponer que las mayores diferencias a favor de la imagen del ejemplar tomada en P/V se darán en los ejemplares de hoja caduca, donde la presencia de la hoja puede influir en la valoración económica otorgada al mismo. En la Figura 3 se puede verificar que el número de frondosas y coníferas con igual valoración es similar. Lo mismo ocurre para los ejemplares más valorados en O/I. Sólo en el caso de ejemplares con más valoración económica asignada en fotos de P/V el número de frondosas es ligeramente superior al de coníferas.

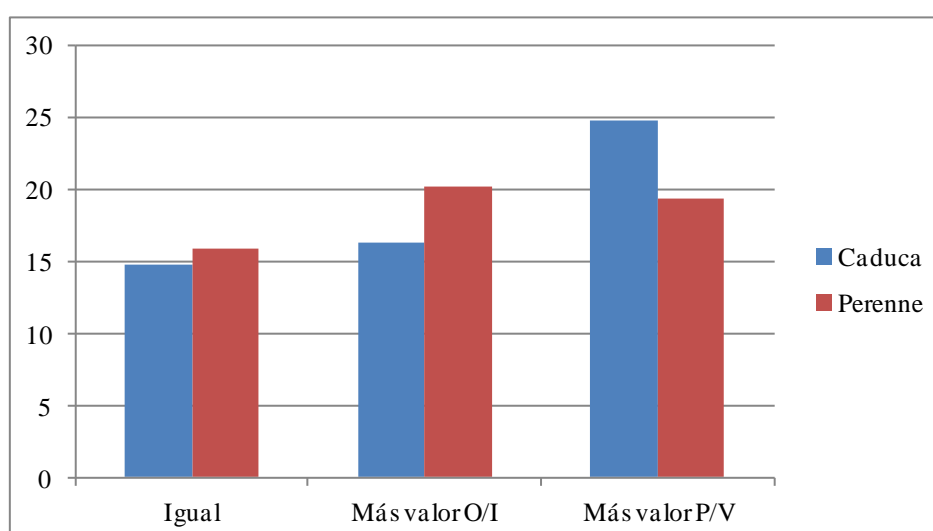


Figura 3. Tipo de ejemplares según las diferencias mostradas en la valoración de los estudiantes.

Los resultados se analizaron mediante el test estadístico de la t de igualdad de proporciones para muestras pareadas. Se compararon las proporciones de estudiantes que valoran de la misma forma el ejemplar mostrado en fotografías de P/V y O/I con la

proporción de estudiantes que valoran más con la foto de P/V. No se puede rechazar la hipótesis de igual de proporciones al 95% de nivel de confianza (p -valor = 0,9999). Se compararon las proporciones de estudiantes que valoran más el ejemplar mostrado en fotografías de O/I con la proporción de estudiantes que valoran más con la foto de P/V. En este caso rechaza la hipótesis de igual de proporciones al 95% de nivel de confianza (p -valor = 0,0462). Sin embargo, con un 99% de confianza en la hipótesis nula ésta no se rechazaría.

Los resultados del ANOVA simple se detallan para los tres tipos de proporciones (Igual, Más valor O/I y Más valor P/V) y los tres factores considerados: especie (SP), tipo de hoja, perenne o caduca (Tipo) y grupo de ejemplares (Grupo) en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados ANOVA (p -valor) según la proporción y el factor

Factor	Igual	Más valor O/I	Más valor P/V
SP	0,9733	0,1170	0,1548
Tipo	0,3750	0,0012	0,0006
Grupo	0,8578	0,0196	0,0266

En todos los análisis se verificó la hipótesis de igualdad de varianzas con el test de Levene al 95% de confianza. Los resultados de la tabla muestran que no existen diferencias en la proporción para estudiantes que valoraron igual, para ninguno de los tres factores.

Las proporciones de estudiantes que valoran más el ejemplar mostrado en fotografías de O/I no presentan diferencias significativas en el factor especie, aunque sí se detectaron diferencias en cuanto al grupo y tipo de hoja. Con el test de rangos múltiples y el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher se determina que el grupo con proporción media superior es el de tipo de hoja caduca (Figura 4 a) y que el grupo con proporción media inferior al resto de grupos es el de valoración mínima (Figura 4 b).

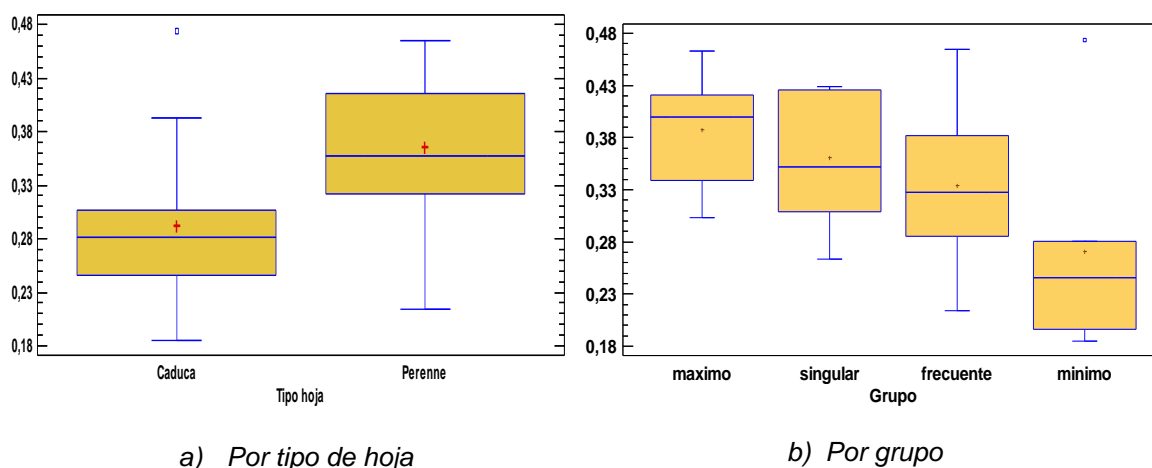


Figura 4. Gráfico de cajas para porcentajes de estudiantes que valoran más las fotos de O/I.

Las proporciones de estudiantes que valoran más el ejemplar mostrado en fotografías de P/V no presentan diferencias significativas entre especies. Se detectan diferencias

por tipo de hoja y grupo. Con el test de rangos múltiples y el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher se determina que los ejemplares de hoja caduca son los que tienen una proporción media superior a los de hoja perenne (Figura 5a) y el grupo de especies con valoración mínima es el de proporción media superior al resto de grupos (Figura 5b).

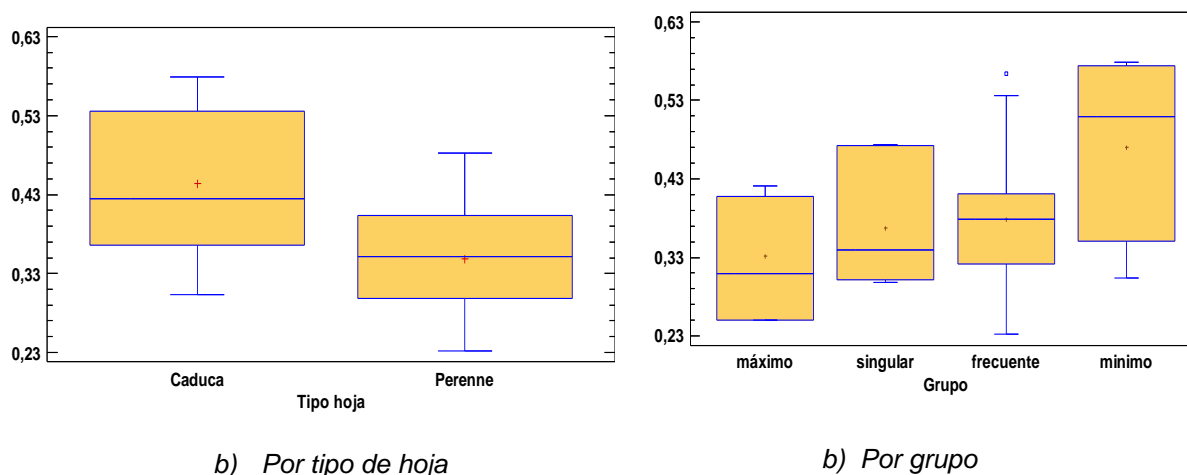


Figura 5. Gráfico de cajas para porcentajes de estudiantes que valoran más las fotos de P/V.

Conclusiones

Los resultados reflejan que existen porcentajes similares de estudiantes en todas las variables que se analizaron, sin mostrar diferencias significativas entre las fotografías dependiendo de la época en la que fueron tomadas.

Los análisis ANOVA muestran que se puede rechazar la hipótesis de que se valoren de la misma forma ejemplares de hoja caduca que de hoja perenne.

Por otro lado, existen diferencias estadísticamente significativas en la valoración de los ejemplares de la especie con menor valor económico en todos los métodos analizados.

Estos resultados parecen indicar que la muestra ha de ser modificada, posiblemente en dos sentidos: ampliar la muestra de personas encuestadas y en segundo lugar, mejorar el cuestionario expresando las preguntas de una manera simplificada.

Bibliografía

- AEPJP, 2007 Método para la valoración de árboles y arbustos ornamentales: Norma Granada: revisión 1999. Asociación Española de Parques y Jardines Públicos. Madrid
- Caballer V., 1999. Valoración de árboles frutales, forestales medioambientales y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Christensen, N.L., Bartuska, M., Brown, J.H., Carpenter, S., D'Antonio, C., *et al.*, 1996. The report of the Ecological Society of America. Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecol. Appl.* 6 (3), 665–691.
- Contato-Carol, M. L., Ayuga-Téllez, E., & Grande-Ortiz, M. A., 2008. A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 341-352.
- CTLA, 2000. Guide for plant appraisal, 9ª Ed., Council of Tree and Landscape Appraisers, ISA, Savoy, IL. 143pp.

- Grande-Ortiz, M.A., Ayuga-Tellez, E. & Contato-Carol, M. L., 2012. Methods of Tree Appraisal: A Review of Their Features and Application Possibilities. *Arboriculture and Urban Forestry* nº38 (4). 130-140.
- Grumbine, R.E., 1994. What is ecosystem management? *Conserv. Biol.* 8 (1), 27–38.
- Jim, C.Y., 2006. Formulaic expert method to integrate evaluation and valuation of heritage trees in compact city. *Environmental Monitoring and Assessment* 116, 53-80.
- Jim, C.Y., and W.Y. Chen. 2009. Ecosystem services and valuation of urban forests in China. *Cities* 26(4):187–194.
- Kane, P., 1980. Assessing landscape attractiveness: a comparative test of two new methods. *Appl. Geogr.* 1, 77–96.
- Kroh, D.P., Gimblett, R.H., 1992. Comparing live experience with pictures in articulating landscape preference. *Landsc. Res.* 17 (2), 58–69
- Laforteza, R., G. Carrus, and G. Sanesi., 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening* 8(2):97–108.
- Moor, G.M., 1991. Amenity tree evaluation: A revised method. – In: *The Scientific Management of Plants in the Urban Environment. Proceedings of the Burnley Centenary Conference, Centre for Urban Horticulture, Melbourne, Australia.*, p. 166-171.
- Navio Abad, J., 2003. Proyecto de implantación de un sistema de riego y mantenimiento del arboreto de la E.T.S.I. Montes de Madrid. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I. Montes UPM. Madrid
- Palmer, F.J., Hoffman, R.E., 2001. Rating reliability and representation validity in scenic landscape assessment. *Landsc. Urban Plan.* 54, 149–161.
- Pavlikakis, G.E., Tsihrintzis, V.A., 2001. Integrating humans in ecosystem management using multi-criteria decision-making. In: *Proceedings of the Integrated Decision Making for Watershed Management Symposium: Processes and Tools, January 7–9, Chevy Chase, USA*, pp. 600–617.
- Pavlikakis, G.E., Tsihrintzis, V.A., 2003. Integrating humans in ecosystem management using multi-criteria decision-making. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 39 (2), 277–288.
- Pérez Fernández, M. L. ,2013. Catálogo vegetal del arboreto de la E.T.S.I. Montes: directrices para su conservación. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I. de Montes UPM.Madrid
- Ponce-Donoso, M., O. Vallejos-Barra, and G. Daniluk- Mosquera. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valorar el arbolado urbano. *Revista Bosque* 33: 69-81.
- Sewell, W.R.D., 1973. Broadening the approach to evaluation in resources management decision-making. *J. Environ. Manage.* 1, 33–60.
- Sewell, W.R.D., 1974. Perceptions, attitudes and public participation in countryside management in Scotland. *J. Environ. Manage.* 2, 235–257.
- Shafer, E., Richards, T., 1974. A comparison of viewer reactions to outdoor scenes and photographs of those scenes, Upper Darby, Pennsylvania. USDA, Northeastern Forest Experiment Station, Research paper NE-302.
- Shuttleworth, S., 1980. The use of photographs as an environment presentation medium in landscape studies. *J. Environ. Manage.* 11, 61–76.
- Sugiyama, T., E. Leslie, and B. Giles-Corti. 2008. Associations of neighbourhood greenness with physical and mental health: Do walking, social coherence and local social interaction explain the relationships? *Journal of Epidemiology and Community Health* 62(5): e9
- Watson, G., 2002. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Arboriculture* 28(1): 11-18.
- Zube, E.H., Pitt, D.G., Anderson, T.W., 1974. Perception and Measurement of Scenic Resources in the Southern Connecticut River Valley. Institute for Man and his Environment, University of Massachusetts, Amherst, MA, p. 191 (Pub. No. R-74-1).

P05 - Alternativas productivas en comunidades campesinas para la recuperación de bosques degradados en Quimilí Paso, Departamento de Salavina, Santiago del Estero (Argentina)

Carrero, J.¹; Ríos, N.²; Moglia, J.G.³, García, M.E.⁴, Moya, M.⁵

¹ Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Plasencia, Avda. Virgen del Puerto nº 2, 10600 Plasencia (Cáceres), justocarrero@telefonica.net; ² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avda. de Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero (Argentina), norfol@unse.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Avda. de Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero (Argentina), vimog@unse.edu.ar; ⁴ Grupo de Investigación LARUEX, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Plasencia, Avda. Virgen del Puerto nº 2, 10600 Plasencia (Cáceres), egciadel@unex.es; ⁵ Grupo de Investigación GIF, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Plasencia, Avda. Virgen del Puerto nº 2, 10600 Plasencia (Cáceres), manuelmi@unex.es

Resumen

Santiago del Estero es una provincia argentina situada a unos 1 000 kilómetros al norte de Buenos Aires. Se ubica en la segunda región forestal más importante de Latinoamérica, El Chaco y, dentro de éste, en la región denominada El Chaco Semiárido. Allí las comunidades campesinas tienen serias dificultades para subsistir pues frecuentemente están sometidas a desalojos, migraciones y a vivir en condiciones de pobreza. Además, la existencia de factores ambientales y sociales poco favorables apenas contribuye a mejorar la situación en la que vive gran parte de la población local. Por ello, se hace necesario conocer las causas que han motivado esta situación. Así, entre los factores ambientales y sociales cabe destacar la presión ganadera, la deforestación que se está llevando a cabo desde hace años, el avance de la frontera agropecuaria, la apropiación de los recursos naturales y la influencia del cambio climático en la zona. Por su parte, para revertir esta situación también se hace necesario conocer a la gente y sus formas de vida por la problemática social existente: la propiedad de la tierra, los desalojos, las migraciones, la pobreza y las necesidades básicas insatisfechas en una gran parte de la población.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo pretende sentar las bases para recuperar el bosque degradado y definir pautas para el manejo sustentable del monte, además de contribuir a mejorar las condiciones de vida de las familias campesinas, posibilitando su permanencia en la tierra sobre la que se asientan mediante la consecución de su soberanía alimentaria. Entre las actuaciones propuestas para conseguir este objetivo global se plantean las siguientes: planteamiento de alternativas productivas a la comunidad, la familiarización de la población con determinadas tecnologías energéticas aplicadas a la alimentación, así como el desarrollo de actuaciones de concienciación y formación.

Palabras clave: soberanía alimentaria, agronegocio, patios productivos familiares, concienciación, formación

Recovery of degraded forests by means of productive alternatives in peasant communities at Quimili Paso, Department of Salavina, Santiago del Estero (Argentina)

Abstract

Santiago del Estero is an Argentine province located about 1 000 kilometers north of Buenos Aires. It is located at the second largest forest region of Latin America, El Chaco, at the so-called The Semi-arid Chaco. There peasant communities have several difficulties to survive because they are usually subjected to evictions, migration and to live in poverty. In addition, the existence of unfavorable environmental and social factors does not help to improve the situation in which much of the local population lives. Therefore, it is necessary to know the causes that have led to this situation. Thus, among the environmental and social factors they should be mentioned the livestock pressure, the deforestation that is taking place since years, the advance of the agricultural boundary, the appropriation of natural resources and the influence of climate change

in the area. Meanwhile, to reverse this situation it is also necessary to know people and their lifestyles because of the existing social problem: the land ownership, evictions, migrations, poverty and unsatisfied basic needs in much of population.

For all these reasons, the present work tries to recover degraded forests and to define guidelines for their sustainable management as well as contributing to improve living conditions for peasant communities, enabling to stay in the land they are settled at by achieving food sovereignty. Among the actions proposed to achieve this overall objective the following are raised: approach to productive community alternatives, familiarizing people with certain energetic technologies applied to food as well as the development of awareness and training activities.

Keywords: food sovereignty, agribusiness, productive family courts, awareness, training

Introducción y/o Justificación

El presente estudio se ha desarrollado gracias a un convenio de colaboración entre la Universidad de Extremadura (UEX) y la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Está enmarcado dentro del Programa Experimental de Manejo y Conservación de los Bosques Nativos, concretamente en un proyecto de la UNSE cuyo título es “Recuperación de los Bosques Degradados Mediante Sistemas Productivos en Quimilí Paso, Dpto. Salavina, Santiago del Estero”.

Los pequeños productores de Santiago del Estero se debaten entre la usurpación por parte de grandes productores, para la práctica de la agricultura extensiva, y la continuidad de un modelo productivo de subsistencia a costa de la destrucción del monte (que deviene en emigraciones). Ni uno, ni otro generan una mejora en los niveles de vida de las poblaciones en las localidades afectadas.

Medio natural y sistemas productivos

En Sudamérica el rápido ritmo de pérdida de superficie forestal neta y la desaparición del bosque primario, con el beneficio que éste aporta desde el punto de vista de la diversidad biológica, la regulación del clima y su tasa de conversión (Jäger, 2001), son especial motivo de preocupación. En particular en Argentina, donde se desarrolla el presente estudio, se calcula que si se mantuviera el ritmo de deforestación de las últimas décadas, hacia 2036 desaparecerían los bosques nativos (salvo las relativamente pequeñas áreas protegidas).

El Chaco Argentino abarca 60 millones de hectáreas, siendo la región forestal más grande del país e involucra a 10 provincias. Algunos autores lo dividen atendiendo a las precipitaciones (Ragonese y Castiglioni, 1970), mientras que otros lo hacen siguiendo el criterio de la flora (Cabrera, 1976). Como de alguna manera estas divisiones coinciden geográficamente, se toma generalmente la siguiente zonificación: Distrito Chaqueño Oriental (Chaco Húmedo), Distrito Chaqueño Occidental (Chaco Semiárido), Distrito Chaqueño Serrano y Distrito de las Sabanas (PIARFON, 2007).

El Distrito Chaqueño Occidental se caracteriza por precipitaciones escasas (500-800 mm de precipitación anual) con clima continental marcado (Cabrera, 1976). La vegetación está formada por bosques xerófilos, algunos palmares, estepas halófilas y sabanas edáficas o inducidas por incendios o desmontes (Giménez y Moglia, 2003). En particular, el monte de Santiago del Estero (provincia en la que se desarrolla este estudio) se puede clasificar en:

1. Monte alto de quebracho colorado:

Está poblado por quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*); algarrobo blanco (*Prosopis alba*) y negro (*Prosopis nigra*), brea (*Cercidium praecox*), garabato blanco (*Acacia praecox*) y mistol (*Ziziphus mistol*). Entre las especies arbustivas cabe destacar la sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), churqui (*Mimozyanthus carinatus*), atamisqui (*Capparis atamisquea*) y sachamelón (*Capparis salicifolia*).

2. Monte bajo y seco de quebracho blanco con vinal.

Es un monte que por partes presenta salitre. En él se puede encontrar mistol (*Ziziphus mistol*), garabato blanco (*Acacia praecox*), brea (*Cercidium praecox*), sachasandía (*Capparis salicifolia*), timo (*Prosopis sericantha*), chaguar (*Bromelia Sp.*), cardón (*Cereus coryne*) y tala (*Celtis tala*).

La localidad objeto del presente proyecto se encuentra dentro del Distrito Chaqueño Occidental, Chaco Semiárido o Chaco Seco, en una de las 9 comarcas en que se divide este chaco semiárido en la provincia de Santiago del Estero: el departamento Salavina (concretamente el paraje de Quimilí Paso), caracterizado por la presencia de bosques con predominio de Quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*), Prosopis y Guayacán (*Caesalpinia paraguarienses*) y Palo santo (*Bulnesia sarmientoi*). Por sus características ambientales y, en especial, por su régimen hídrico, es una zona muy vulnerable a los sistemas agrícolas tradicionales. Es especialmente preocupante la intensificación de la agricultura de las zonas Este, Oeste y Sur del Chaco semiárido. Existe una eliminación casi total de los recursos naturales en dichas áreas agrícolas.

Pese a la existencia de este bosque único en el mundo, ha habido una fuerte deforestación por la producción de traviesas para los ferrocarriles ingleses (mediante la explotación social en el sistema de "obrajes"), así como en menor escala por la producción de postes, leña y carbón vegetal (Dargoltz, 1980). A esta pérdida histórica de bosque nativo santiagueño se ha sumado, en las últimas décadas, el cultivo industrial de soja y la extensión de la frontera ganadera (caprino y vacuno fundamentalmente), lo que ha originado una gran deforestación que ha conllevado una incipiente desertificación, empobreciendo la vegetación, disminuyendo la materia orgánica de los suelos y ascendiendo capas freáticas con salitre e incluso arsénico (Dargoltz, 1998).

En cuanto a los sistemas productivos, podemos distinguir tres tipos de productores:

- Pequeños productores campesinos con escasez de recursos naturales (tierra y/o agua, en cantidad y calidad), de capital y tecnología, y que usan mano de obra fundamentalmente familiar. Se trata de una economía de subsistencia (con ausencia de beneficios económicos), minifundista, que cultiva hortalizas, alfalfa, maíz, cría de cabras y aves de corral, y obtención de leña y carbón.
- Medianos productores, que disponen entre 25 y 50 hectáreas, y producen hortalizas, alfalfa y/o algodón con mano de obra familiar.
- Los empresarios o productores capitalizados, que producen soja, maíz y/o sorgo granífero en enormes extensiones.

Situación social

Santiago del Estero es una de las provincias con mayor población campesina de Argentina (en torno al 40%). Además, los departamentos con mayor pobreza son los que concentran la mayor población rural. Los pobladores rurales generalmente son

poseedores con ánimo de dueño de las tierras que durante varias generaciones han ocupado. Sin embargo, no tienen regularizada su situación de dominio como consecuencia de actuaciones injustas que se han sucedido desde la época colonial.

El contexto social en el que se desarrolla el proyecto y las relaciones entre los diversos actores que comparten el medio rural de Santiago del Estero es de violencia institucional, judicial, política y policial. El trato diferenciado, la parcialidad y la impunidad son generalizados a la hora de valorar los comportamientos respecto de los campesinos o de los empresarios, inversores o “propietarios” rurales. Para el sistema sociopolítico internacional el campesinado es un anacronismo en la “modernidad” y, por lo tanto, los considera prescindibles y un freno para el “progreso” y el “desarrollo”, entendidos desde la óptica y el “sentido común” occidental. Actualmente, los campesinos están sometidos a la presión de los desalojos, los desmontes y el avance de la frontera agraria del agronegocio. Según el Defensor del Pueblo de la provincia habría 24 000 poseedores legítimos expuestos a ser desalojados por el avance de la frontera agropecuaria y por los conflictos de tierra para la especulación.

Todo ello da lugar a que se generalicen en el sector campesino problemas como los déficits en salud, educación o infraestructuras, así como las dificultades en la tenencia y permanencia en la tierra. En este contexto, ocurren inevitablemente los desalojos, las migraciones y la pobreza.

El tipo de vivienda familiar de la zona es muy precario: casas tipo ranchos (de ladrillos, barro, madera y otros elementos improvisados), deficientes en lo sanitario (como prueba la morbilidad de la enfermedad de Chagas) y que en general no cuentan con instalaciones sanitarias ni de electrificación.

La situación de partida es, pues, la existencia de un monte en estado avanzado de degradación y, en lo social, la presencia en él de comunidades campesinas con dificultades para subsistir en el medio. Ambos factores (forestal y social) están íntimamente unidos y no se puede entender la evolución de cualesquiera de los dos factores sin la presencia o la influencia del otro. Por lo tanto, cualquier proyecto de agroingeniería en la región chaqueña argentina debe formularse desde la unión entre factores de tipo técnico y situación social conjuntamente. Para ello, resulta esencial analizar los antecedentes y la evolución de ambos factores en el contexto histórico, social, ambiental, económico, legal, migratorio e incluso político. Los proyectos deben incluir la cosmovisión campesina/indígena (la tierra es un espacio de vida, no sólo un bien económico), sumando a ésta las razonables propuestas técnicas que se pueden aportar desde el conocimiento puramente científico. Y todo ello, para evitar que pasemos de lo que fue un “monte salvaje a un desierto ilustrado” (Santamaría, 2007). “Donde hay presencia humana, hay monte; donde la gente se va o es desplazada, el monte desaparece”, decía el entonces Ministro de Agricultura de la Nación Argentina, D. Julián Domínguez, ante la Asamblea del Movimiento Nacional Campesino Indígena (MNCI), reunida en Quimilí en noviembre de 2009.

Objetivos

Partiendo del proyecto base de la UNSE y de la situación de la comunidad campesina que habita en Quimilí Paso, el objetivo esencial del presente trabajo es presentar propuestas para:

1. Recuperar el bosque degradado del campo llamado Quimilí Paso y definir pautas de manejo sustentable del monte.
2. Mejorar las condiciones de vida de las familias campesinas, posibilitando su permanencia en el lugar mediante la consecución de su soberanía alimentaria.

Se complementan así los objetivos agroforestales con otros de corte social orientados a dotar a la comunidad de herramientas, conocimientos y alternativas productivas compatibles con la conservación y recuperación del monte, dentro de una gestión agrosilvopastoril que les permita obtener rendimientos al margen del sistema extractivo que se ha venido practicando en los últimos tiempos. Se trataría de conseguir la autosuficiencia en materia de alimentación y una cierta capacidad de transformación y elaboración de productos comercializables que puedan aportar fondos para la mejora de las condiciones de vida de la comunidad a corto, medio y largo plazo.

Material y Métodos

Una vez establecido el objetivo del proyecto y dada la naturaleza propositiva cualitativa del mismo, se optó por una investigación de tipo exploratorio, basada en la observación, la identificación de las problemáticas a enfrentar y el análisis de contenidos de información existente.

Para ello se han consultado multitud de fuentes de tipo academicista (bibliografía, cursos y entrevistas a profesores) y de tipo social (cursos en el medio rural, entrevistas con agentes sociales de intervención - desde funcionarios hasta técnicos de ONGDs- y, sobre todo, entrevistas con las propias comunidades campesinas, no solo de Quimilí Paso).

Propuestas de Actuación

La mayor parte de las propuestas que aquí se realizan van encaminadas a favorecer la recuperación de aquello que la población local tiene más cerca y que, además, forma parte de su cultura y su pasado: la recuperación de las parcelas de cultivo próximas a las viviendas, los cercos, que se encuadrará en un marco más amplio al que se denominará el “Patio productivo familiar” (Kees, 2004).

La figura 1 ilustra la temporalización de las tareas que se realizarán sobre el predio familiar.

Este estudio pretende, además, fomentar prácticas de conservación del monte nativo, promover la restauración y recuperación del monte degradado, promocionar y difundir los conocimientos necesarios para el manejo sostenible del monte nativo y la utilización de sus productos y servicios, promocionar la generación directa de puestos de trabajo y la capacitación para la producción agroecológica, diversificar la producción y comercializar los bienes y servicios provenientes del monte.

Por lo tanto, las actuaciones que se prevén llevar a cabo para alcanzar los objetivos fijados son las siguientes:

- **Creación de los “Patios Productivos Familiares”**
 - Usos tradicionales y actuales en el monte
 - Actuaciones sobre cercos y potreros
 - Forestación con algarrobo blanco (*Prosopis alba*)

- Cerramientos
- **Ampliación de la huerta comunitaria y comercialización de la producción**
 - Ampliación de la huerta comunitaria
 - Transformación y comercialización de la producción
- **Tecnologías energéticas aplicadas a la alimentación**
 - Hornos de tambor y/o fogones mejorados (por familia)
 - Deshidratador solar (comunitario)

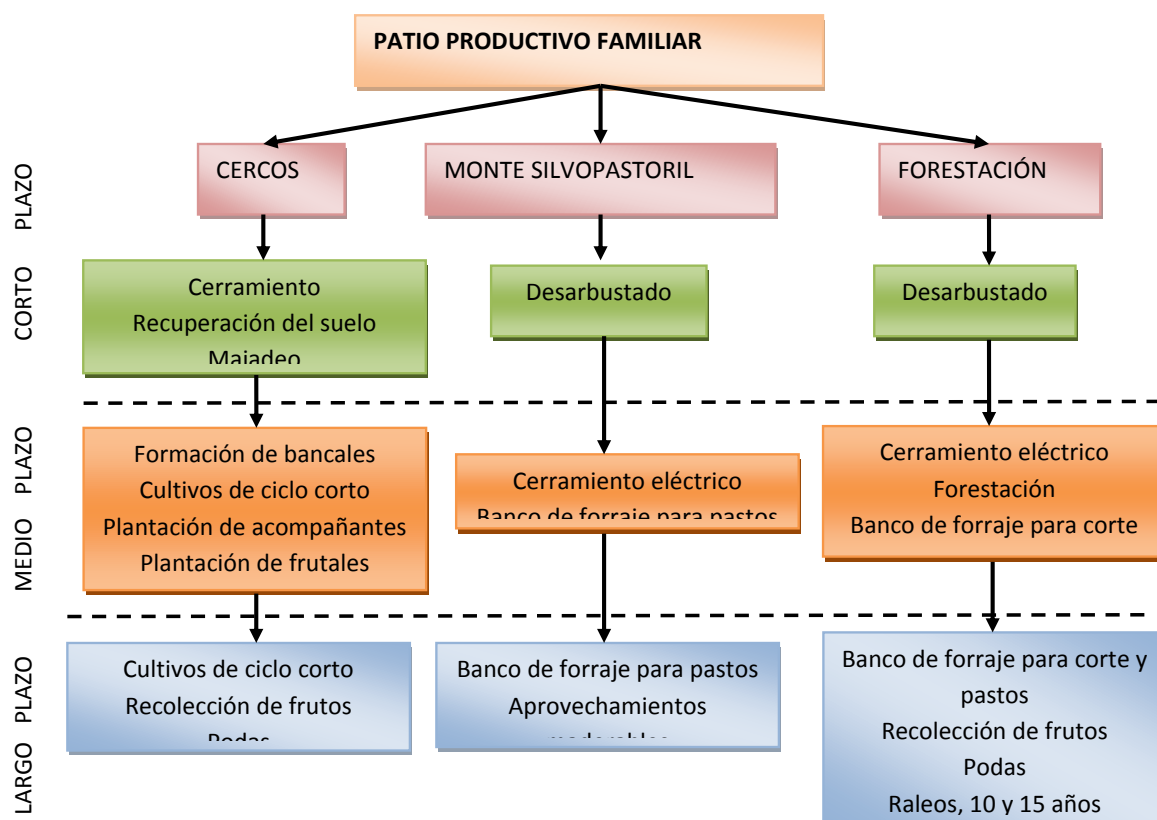


Figura 1. Planificación temporal del Patio Productivo.

Creación de los “Patios Productivos Familiares”

El patio productivo familiar está formado por la vivienda, el corral o corrales para el ganado, el cerco o huerta familiar, la forestación con algarrobo y la zona de potreros para pastoreo, donde se aplicarán técnicas silvopastoriles. El esquema genérico de la estructura espacial de este sistema se muestra en la figura 2:

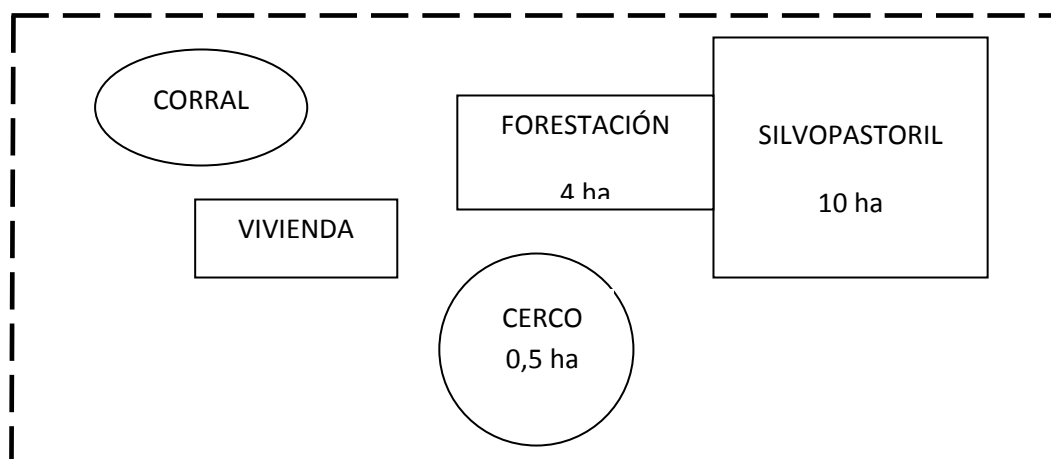


Figura 2. Estructura espacial del Patio Productivo Familiar

En la actualidad, las actividades relacionadas con el mantenimiento del hogar, tareas imprescindibles por otro lado pero no remuneradas, son llevadas a cabo mayoritariamente por las mujeres, mientras que las actividades productivas, generalmente remuneradas con dinero, que proporcionan a las familias bienes y servicios para el consumo o para la venta, son realizadas mayoritariamente por hombres y se desarrollan frecuentemente fuera y, en ocasiones, lejos de Quimilí Paso. Con las actuaciones que se plantean se intenta cambiar esta dinámica, permitiendo que las actividades productivas se puedan realizar dentro de la finca y que los rendimientos obtenidos sean suficientes para garantizar la manutención y buen vivir de las familias.

Como se ha expuesto anteriormente, con la implementación del patio productivo familiar no se pretende favorecer únicamente las actividades productivas en los cercos o potreros, sino que también se intenta implementar tecnologías energéticas orientadas a la alimentación y proponer mejoras en las condiciones higiénico-sanitarias de las familias. Por lo tanto, estas medidas intentan beneficiar a las mujeres principalmente pero también a la carga doméstica familiar, aliviándola en la medida de lo posible.

Usos tradicionales y actuales en el monte

En relación con los usos tradicionales y actuales en el monte, hay que decir que en la actualidad se extraen los mejores árboles dependiendo del destino que se quiera dar a su madera (aserrado, postes, carbón, etc.). Sin embargo, dado que las tasas de extracción superan a las de regeneración y crecimiento, cada vez se extraen individuos más pequeños, no habiendo una visión de futuro en su manejo. Por su parte, la carga animal es elevada y permanente, lo que unido a la escasez de forraje estacional supone un incremento de la severidad de los daños a los árboles de menor tamaño tales como pisoteo, ramoneo, etc., por lo que, en conjunto, supone una fuerte degradación del recurso vegetal y facilita la colonización de especies arbustivas de bajo valor forrajero y forestal. Finalmente, se ha de comentar que la vegetación original de Quimilí Paso, al igual que en todo el Chaco Semiárido, se compone de un mosaico de bosques, arbustos y sabanas. Sin embargo, la degradación que está sufriendo el medio natural provoca la proliferación del "fachinal", especie leñosa de baja altura de hábito arbóreo y arbustivo que predomina en todo el Departamento.

Actuaciones sobre cercos y potreros

Entre las acciones encaminadas a la creación del patio productivo familiar se propone trabajar sobre el potrero familiar, la zona del monte más próxima a la casa en la que pastorean los animales de cada familia. En esta zona se deben realizar actuaciones tendentes a la conservación del monte y la obtención de pastos que sirvan de alimento para el ganado. Para ello, se recomienda la realización de tratamientos silvoculturales que favorezcan el desarrollo de un sistema silvopastoril en el que las especies forestales, los pastizales y los animales de producción permitan mejorar a medio y largo plazo la productividad, la sustentabilidad y la rentabilidad de la explotación. Su aplicación será progresiva y sobre pequeñas superficies con una densidad no inferior a 140 plantas/ha.

Para el desarbustado se utilizará el desbroce selectivo manual y la forma en la que se realice dependerá en cada caso del tipo de animal que pastoreará en la zona a tratar. Así, donde pastoreen las vacas se destroncará el arbusto cortando sus raíces a 30 o 40 cm bajo tierra para evitar su rebrote y favorecer la producción de pastos; en cambio, allí donde pastoreen las cabras se permitirá el rebrote y, por lo tanto, los arbustos se cortarán pero dejando un tronco de entre 30 y 70 cm para que las cabras puedan comer. En Quimilí Paso, para implementar el sistema silvopastoril comunitario de 100 ha, se está efectuando el desarbustado por franjas de 20 m de ancho. Los tratamientos silvoculturales a aplicar en el predio incluirán cortas de mejora que favorezcan la extracción de árboles y arbustos muertos o en mal estado, así como la realización de podas sobre plantas que tengan una altura superior a los 2,5 m y siempre se actuará en el tercio inferior de las mismas.

Una vez desarbustado el potrero familiar se darán las condiciones idóneas para favorecer la producción de especies forrajeras naturales que cubrirán las necesidades nutricionales de los animales. Para complementar la escasez que se prevé que se produzca en el período invernal, caracterizado por la ausencia de lluvias, se aplicarán técnicas de implantación de pastos subtropicales y manejo de ganado, como se hace actualmente en el proyecto base que la UNSE está llevando a cabo, y se llevarán a efecto técnicas de transformación y conservación de forrajes para su uso en épocas críticas. Todas esas labores, desde el cerramiento perimetral hasta los tratamientos silvoculturales, las llevarán a cabo los habitantes de Quimilí Paso para que, al igual que ocurre actualmente con el proyecto que está ejecutando la UNSE, se puedan incrementar notablemente los ingresos familiares de los habitantes de la zona.

En el proyecto de la UNSE, la organización de los trabajos y los precios de la jornada, de las hectáreas desarbustadas y de los metros lineales de cerramiento fueron negociados en una reunión con los representantes de la comunidad y confirmados en reuniones con los propios trabajadores. Se decidió en asamblea si se cobra por jornal o por hectárea, el tipo de cerramiento exterior y los interiores, siendo la propia comunidad la que gestiona la obtención del material y la que decide la formación de las cuadrillas. Sin embargo, una vez finalice la intervención de la UNSE serán las administraciones competentes las que deberán asumir su responsabilidad y dotar a la comunidad de lo que precisen para su desarrollo: financiación, infraestructuras, formación permanente y

acompañamiento. Se antoja complicada esta tarea teniendo en cuenta la importancia que ha tenido hasta ahora para la administración central el medio rural santiaguense.

En lo que a las actuaciones sobre el cerco, el espacio más cercano a la habitación familiar, se refiere, en él se producirán alimentos de origen vegetal y animal prioritariamente para autoconsumo. Para producir alimentos de origen vegetal se proponen dos alternativas, una de carácter familiar, que se realizará en las inmediaciones del predio, dada la escasez de agua, mientras que la otra tendrá un carácter colectivo pues consiste en la ampliación de la huerta comunitaria existente proporcionándole una dimensión adecuada para garantizar a las familias el suministro de verduras y hortalizas exigentes en agua que podrían cultivarse gracias al depósito de tipo australiano que existe actualmente y que posee una capacidad de 50 000 litros. Lógicamente, las tareas que se realicen sobre la huerta comunitaria estarán supeditadas a la disponibilidad permanente de agua. Por ello, con el fin de garantizar dicha disponibilidad, se precisará de la formulación de un proyecto de ingeniería que permita conectar el acueducto que llega desde el río Saladillo a los dos depósitos de tipo australiano que existen en Quimilí Paso y la alimentación, mediante energía solar, de la planta de bombeo situada junto a dicho río. Sin estas actuaciones la viabilidad de las propuestas que se hacen en el presente estudio se vería seriamente comprometida, por lo que la administración, las ONGD y la propia Universidad deben ponerse manos a la obra cuanto antes. En la actualidad sólo tres familias de Quimilí Paso mantienen una cierta producción en sus cercos, el resto se han olvidado de los mismos. Por ello, la recuperación de éstos se antoja una tarea prioritaria para permitir que las familias puedan adquirir una dieta equilibrada, especialmente en los niños, que prevenga el exceso de colesterol, de ácido úrico, algunos tipos de cáncer relacionados con el aparato digestivo e incluso infartos de miocardio.

La recuperación de los cercos familiares se realizará mediante la implantación de sistemas agroforestales, la experimentación mediante plantas acompañantes o “madrinas” y la agricultura orgánica biointensiva. De esta manera, los primeros años se pueden cosechar cultivos anuales y bianuales. Posteriormente, a partir del cuarto año de su implantación, los frutales pueden comenzar a dar frutos y a largo plazo se puede contar con la producción de especies maderables. Así se pueden generar ingresos y alimentos constantes que favorezcan la economía y la seguridad alimentaria.

Para contribuir a la recuperación de los suelos se colocará, en primer lugar, un cerramiento perimetral fijo que impida el acceso de los animales. Posteriormente se aplicarán técnicas que eviten la pérdida y posibiliten la recuperación del suelo, mejorando la aireación y circulación del agua en el mismo. Estas técnicas incluyen el majadeo o redileo sucesivo sobre la parcela para mejorar el abonado; la labranza mínima, no realizando labores profundas y no enterrando la capa superficial, más rica en materia orgánica; la implantación inmediata de cultivos arbóreos y de cobertura para lograr que el agua que mane del suelo lo haga por evapotranspiración, generando biomasa, en lugar de por evaporación, que implica salinización; el uso de agricultura biointensiva y, finalmente, la cubrición del suelo con acolchado o mulch, dejando los restos vegetales sobre él.

Los cultivos hortícolas en los cercos se complementarán con la plantación de frutales tanto nativos (algarrobos, docas, chañares, mistol, etc.) como introducidos (olivos, cítricos, granados, etc.). Para ello, se comenzará con la plantación de plantas protectoras o acompañantes que servirán de “madrinas” a los frutales. Como acompañante se utilizará la tuna (*Opuntia ficus-indica*), que se produce actualmente en el vivero de la comunidad. Su plantación se realizará a unos 50 cm de la especie productiva. Para que la parcela agroforestal esté equilibrada debe contener, aproximadamente, 1/3 de especies productivas, 1/3 de acompañantes y 1/3 de especies locales. Los espacios libres entre ellas pueden ser aprovechados con cultivos a corto plazo (patata, maíz, trigo, leguminosas, etc.). Parte de la paja de estos cultivos se aprovecharán para el acolchado.

Para facilitar el desarrollo de la agricultura orgánica biointensiva se utilizarán dos técnicas: el “bancal profundo o doble excavación” y la elaboración de compost. Con el primer sistema se crearían bancales de 10 m² cada uno, trabajando la tierra a 60 cm de profundidad. Se estima que con 4 bancales se podría alimentar a una persona durante un año. Para garantizar la autosuficiencia, el 60% de la huerta debería ser dedicada a cultivos que produzcan compost (maíz, trigo, leguminosas, etc.). Los materiales que se necesitan para su elaboración se pueden depositar en pilas de 1,5 m de altura, 1,5 m de anchura y 1,5 m de longitud, cuidando que la relación C/N de esos materiales sea, aproximadamente, de 25-30/1, lo que dará como resultado la creación de compost con una relación C/N de 15/1. Para alcanzar esta cifra se propone 1/3 de material seco (paja de cereales y/o aserrín), 1/3 de material verde (leguminosas, pastos tiernos o restos de comida) y 1/3 de suelo (en peso), controlando la humedad en todo momento. La cantidad de compost que se incorporará en cada bancal profundo de 10 m² para obtener un rendimiento medio oscilará entre 30 y 40 kg.

Todas las actuaciones comentadas se realizarán sobre un cerco de 0,5 ha en el espacio que la comunidad de Quimilí Paso posee y que se conoce como “emprendimiento”, lugar en el que ya existe una pequeña instalación de riego por goteo. Todas las tareas las acometerán vecinos que ya poseen formación hortícola y trabajan en la comunidad, procediéndose posteriormente a formar a los demás integrantes de la comunidad con la ayuda del equipo de voluntariado universitario. De esta forma, posteriormente cada familia acometerá en su cerco las actuaciones que se llevarán a cabo en el demostrador.

Forestación con algarrobo blanco (*Prosopis alba*)

Por su idoneidad y rentabilidad económica, la especie elegida para realizar la forestación con un fin maderable y para fruto será el algarrobo blanco (*Prosopis alba*). La forestación se realizará por diseminación natural y se complementará con la forestación tradicional para densificar la anterior.

La diseminación natural consiste en que los animales comerán el fruto de esta especie y la siembra se realizará gracias a las deyecciones de éstos, dando lugar a formaciones desordenadas y no muy densas, siendo un sistema de bajo coste, ideal para campesinos con baja capacidad económica, como es el caso que nos ocupa. Esta forestación se realizará sobre parcelas de unas 4 ha que hayan sido fuertemente

desmontadas o estén muy degradadas, siendo prioritaria su proximidad a la vivienda. El aprovechamiento final se realizará a los 25 años, previendo obtener entre 80 y 100 toneladas de rollo por hectárea. Para que un tronco cortado pueda ser catalogado como rollo su diámetro mínimo debe ser de 30 cm. En el momento de la realización del estudio (2012), en el mercado el precio de la tonelada de rollo era de aproximadamente 800 pesos (140 €, aproximadamente). Además, se realizarán raleos y podas en el período comprendido entre los 5 y los 15 años desde la plantación. Se procurará alcanzar una densidad de entre 400 y 500 plántulas por hectárea que años después quedará reducida a unas 150 plantas/ha, considerándose ésta como la densidad adecuada para esta especie. Su fruto, la chaucha o algarroba, es un alimento extraordinario para el ganado y las familias, por lo que además de los beneficios sociales, ambientales y económicos que reporta esta especie, su fruto proporciona muchos nutrientes esenciales para una adecuada alimentación.

Cerramientos

Con respecto a los cerramientos, los más comúnmente utilizados en las parcelas tienen postes de quebracho colorado y varillas de quebracho blanco, ambas especies autóctonas pero en seria amenaza por la brutal deforestación llevada a cabo durante muchísimos años. Por ello, como alternativa se proponen cerramientos con alambrados eléctricos. Este sistema requiere menos hilos y postes que el tradicional y puede trasladarse fácilmente. El alambrado eléctrico se utilizará en la implementación del sistema silvopastoril que se utilizará como potrero y en la zona de forestación con algarrobos, tratándose en ambos casos de cerramientos temporales. Sin embargo, para el cerco o huerta familiar se realizará un cerramiento definitivo que debería ser construido con postes metálicos para evitar el uso del quebracho para este fin por las razones esgrimidas anteriormente.

Ampliación de la huerta comunitaria

La huerta comunitaria se ampliará bajo el criterio descrito en el sistema biointensivo, por lo que la superficie final necesaria para satisfacer las necesidades de los 121 habitantes de Quimilí Paso sería, aproximadamente, de 4 800 m² (4 bancales profundos de 10 m² por persona y año). La ampliación de la huerta será un proceso continuo y progresivo y a ella se asociará un proyecto de infraestructura de riego para garantizar el suministro del agua que se precisa. Más a medio y largo plazo se realizará la transformación y comercialización de los excedentes que se puedan generar en una fase de producción consolidada. Paralelamente, se efectuará una labor de capacitación permanente, que es uno de los objetivos prioritarios del proyecto de voluntariado universitario.

Tecnologías energéticas aplicadas a la alimentación

Con el fin de mejorar las condiciones higiénico-sanitarias de la población local, se propone el uso de cocinas mejoradas de leña en el interior de la vivienda y de hornos de tambor en el exterior. De esta forma se puede reducir sensiblemente el número de muertes que se producen por inhalación de humo, así como el desarrollo de enfermedades a él asociadas. Además, para facilitar la conservación y almacenamiento de la producción hortofrutícola se prevé implantar para uso colectivo un secador/deshidratador solar desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnología

Industrial (INTI) para pequeños productores campesinos y que será gestionado por la Comisión Municipal de Quimilí Paso. Con él se podrán colocar en el mercado productos sanos y en correcto estado de conservación, lo que podría acarrear beneficios económicos directos a las familias.

Conclusiones

Se propone la implementación de “patios productivos familiares” como medio para recuperar los cercos familiares y reforestar las zonas aledañas a los predios. Además, el manejo integrado de las actuaciones que en él se proponen puede proporcionar la soberanía alimentaria y económica a la comunidad de Quimilí Paso.

La introducción y consolidación del uso de tecnologías energéticas alternativas aplicadas a la elaboración y conservación de alimentos pueden contribuir a reducir el sufrimiento de las mujeres campesinas, además de frenar la deforestación y la degradación ambiental.

Para alcanzar los objetivos previstos se requiere el compromiso de todos los agentes implicados, la obtención de una ayuda oficial inicial, el estímulo económico (financiación pública fundamentalmente) sostenido en el tiempo, dotación de infraestructuras y equipamiento, arraigo de capital humano en la zona, una comunidad organizada y concienciada y la conservación y recuperación del recurso forestal, de la fauna autóctona, del suelo y del agua.

Bibliografía

- Cabrera, A.L., 1976. Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo II Regiones Fitogeográficas Argentinas. 2ª edición. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires. 85 p.
- Dargoltz, R.E., 1980. Santiago del Estero, el drama de una provincia. Ediciones Castañeda. San Antonio de Padua. 176 p.
- Dargoltz, R.E., 1998. Hacha y Quebracho. Historia ecológica-social de Santiago del Estero. Ediciones Conciencia Nacional. Santiago del Estero. 174 p.
- Giménez, A.M. y Moglia, J.G. 2003. Árboles del Chaco argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Editorial El Liberal. 307 p.
- Jäger, M., 2001. Valoración económica de los bosques. FUCEMA. Informe final. Buenos Aires.
- Kees, M.A., 2004. Los patios productivos familiares. Documento inédito. Argentina.
- PIARFON, 2007. Informe sobre el Parque Chaqueño- Subregión Chaco Semiárido. Programas de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos. Argentina.
- Ragonese, A.E., Castiglioni, J.C., 1970. La vegetación del parque chaqueño. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 11(suplemento), 133-160.
- Santamaría, D.J., 2007. Chaco Gualamba: Del monte salvaje al desierto ilustrado. Ediciones Cuadernos de Duende, San Salvador de Jujuy, Argentina. 191 p.

P06 - Seguimiento de las propiedades agronómicas de un suelo de regadío bajo cultivo ecológico.

Rodrigo Fernández, R.¹; González Barragán, M.I.², Guerrero Fernández, I.³, Barrios Casado, A.⁴, Pinilla Blanco, J.⁵, Gómez Díez, A.⁶, Gutierrez Martinez, P.⁷.

INEA. Cno. Viejo de Simancas, km 4,5. 47008 Valladolid (España). ¹ruben@inea.uva.es;

²inea.isabel@gmail.com, ³inea.irene@gmail.com, ⁴abelbarrios@yahoo.es;

⁵huertosecologicos@gmail.com, ⁶inea.andres@gmail.com, ⁷pilar@inea.uva.es

Resumen

La utilización de abonados orgánicos conlleva una serie de efectos positivos en las características físico-químicas del suelo como son los relacionados con su capacidad para suministrar gradualmente nitrógeno y otros nutrientes a los cultivos vegetales. Por ello, este estudio trata de reflejar los efectos de una fertilización orgánica en las propiedades físicoquímicas de un suelo anteriormente abonado con productos minerales. La finca en estudio se encuentra situada en la Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola (INEA) de Valladolid. Dicha finca de regadío fue transformada en 2006 a agricultura ecológica involucrando como actor principal del proceso y como no podía ser de otra manera, al suelo. Los datos analizados para este trabajo corresponden a tres parcelas diferenciadas dentro de la finca de INEA. Los datos de partida se corresponden con una fertilización mineral aplicada con técnicas convencionales para las tres parcelas. En 2006 se comienza a ensayar una fertilización orgánica manejada con técnicas de cultivo ecológico. Los resultados constatan un claro incremento del contenido de materia orgánica y nutrientes a lo largo del periodo estudiado, mostrando así una mejora del suelo bajo el manejo orgánico.

Palabras clave: Propiedades físico-químicas, suelo, agricultura ecológica.

Agronomic properties tracking of a soil irrigated under organic farming.

Abstract

The use of organic fertilizers has positive effects on physicochemical soil properties such as those related to its ability to supply nitrogen and other nutrients to vegetable crops. Therefore, this study tries to reflect the positive effects of organic fertilization on the physicochemical properties of a soil which was previously fertilized with mineral products. The farm being studied is located in the University School of Agricultural Engineers (INEA) in Valladolid. Such irrigated farm was transformed to organic farming in 2006 and the soil and its improvements were taken as our main objective. The analyzed data correspond to three different smallholdings within INEA's farm. Starting data correspond with mineral fertilizers applied in a conventional techniques way for the three plots. The organic fertilization began with ecological farming techniques in 2006

Results indicate a clear increase in organic matter and nutrients throughout the studied period, showing an improvement of soil under organic management.

Keywords: physicochemical soil properties, ecologic farmland.

Introducción

La agricultura es la actividad humana que en mayor medida altera el medio ambiente global, pero es al mismo tiempo una labor imprescindible para la supervivencia del hombre.

Los sistemas de producción agrícola están sometidos a numerosas influencias incontrollables y conllevan una serie de limitaciones causadas por su dependencia del

medio ambiente, por el carácter perecedero de los productos vegetales y por la estacionalidad de la producción (López-Bellido *et al.*, 2000).

El factor natural más importante que afecta a la agricultura es el clima, caracterizado por su poder erosivo siendo los procesos de desertificación uno de los problemas presentes en la agricultura actual. La causa principal de este proceso se encuentra en el cambio de uso de suelo sin tener en cuenta las condiciones de frágil equilibrio de los ecosistemas. Se tiene constancia de que ya en la antigüedad determinadas civilizaciones desaparecieron como consecuencia de las inadecuadas prácticas de gestión que llevaron a una degradación irreversible de la tierra en que se asentaban. El suelo edáfico (la parte superior del terreno o suelo agrícola) es un recurso no renovable de importancia clave.

La entidad de los ecosistemas depende de la conservación y desarrollo del suelo, ya que la base de todas las cadenas tróficas es la biomasa vegetal, siendo ésta función de suelo y clima. Un suelo que ha tardado veinte mil años en generarse, puede degradarse en profundidad con tan sólo veinte años de manejo agrícola inadecuado (Ayala-Carcedo, 2002).

Con todo esto puede decirse que las prácticas agrarias convencionales resultan actualmente insostenibles ya que cada vez necesitan más laboreo e insumos para mantener su productividad, contribuyendo a un empobrecimiento y una escasa fertilidad de los suelos.

La Agricultura Ecológica es una forma diferente de enfocar la producción agraria, basada en el respeto al entorno y producir alimentos sanos, de la máxima calidad y en cantidad suficiente. Utiliza como modelo a la misma Naturaleza, extrayendo de ella toda la información posible, sin dejar de lado los actuales conocimientos técnicos y científicos que:

- respeten el agroecosistema, de forma que no produzcan impactos ambientales,
- potencien la fertilidad natural de los suelos y su capacidad productiva, garantizando la continuidad de la producción agraria en la zona,
- no incorporen a los alimentos sustancias o residuos perjudiciales para la salud o mermen su capacidad alimenticia,
- respeten los ciclos naturales de los cultivos y aporten a los animales unas condiciones de vida adecuadas.

La modernización de la agricultura va unida al avance de la sociedad, con lo que el agricultor se encuentra ante la difícil tarea de ofrecer al consumidor lo que demanda (producto, calidad y precio) y cuidar el medio del que vive.

Definición de conversión:

La normativa sobre Producción Ecológica (Reglamento CE 889/2008) define el proceso de conversión como “transición de la agricultura no ecológica a la agricultura ecológica durante un período de tiempo determinado en el que se aplicarán las disposiciones relativas a la producción ecológica.”

Fertilización en agricultura ecológica

Para producir plantas en cualquier sistema de cultivo, es necesario cubrir sus necesidades básicas de agua y nutrientes. La fertilización en agricultura ecológica no tiene como objetivo la reposición de los nutrientes que las plantas extraen del suelo en forma de cosecha, sino que se centra en su fertilidad, es decir, en su capacidad para proporcionar a las plantas las condiciones necesarias para su crecimiento y desarrollo. Su meta es alimentar el suelo más que brindar a la planta grandes cantidades de elementos solubles. Por ello, la base de la fertilización en un manejo ecológico, es el aporte de materia orgánica que, además de suministrar nutrientes de forma progresiva, mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y su fertilidad. La fertilización orgánica influye en el contenido de sustancias fisiológicamente activas como hormonas, vitaminas, antibióticos y en el mantenimiento de la población microbiana (González *et al.*, 2011).

Es preferible el estiércol procedente de granjas donde se utiliza para la cama del ganado paja u otro material rico en carbono. Aunque algunos cultivos lo toleran fresco, la mejor opción es un estiércol hecho o maduro, mediante la técnica del compostaje.

Las cantidades de estiércol a aportar dependen de su composición y de la del suelo, así como de las necesidades de la planta a cultivar.

Materia Orgánica:

La cantidad de residuos de cultivo que retornan al suelo constituye un factor principal en el contenido de materia orgánica en el suelo. Los beneficios edáficos derivados del mayor contenido en materia orgánica son particularmente útiles en ambientes semiáridos, tanto por la mejora en la fertilidad física y química como por el aumento de la capacidad de retención de agua.

Las propiedades y funciones de la materia orgánica en el suelo son muchas. Puede dividirse en propiedades biológicas, físicas y químicas (Porta *et al.*, 1999; Baldock y Nelson, 2000; Sumner, 2000; Reicosky, 2003).

- Biológicas: funciona como reservorio de energía metabólica a la vez que es una fuente de macronutrientes. Proporciona resistencia al ecosistema frente a perturbaciones y regula la estimulación e inhibición de las actividades enzimáticas y el crecimiento de plantas, microorganismos y rizobacterias (Li y Kremer, 2000; Chan, 2001; Lupwayi *et al.*, 2001; Epperlein, 2003; Feng *et al.*, 2003; González-Fernández, 2003).

- Físicas: estabiliza la estructura del suelo (Castro *et al.*, 2002) mediante la formación de agregados por la acción de las sustancias húmicas, polisacáridos, células microbianas y micelios de hongos. Aumenta la capacidad de retención de humedad, así como la aireación y la entrada y circulación del agua. (Porta *et al.*, 1999). Disminuye la solubilidad y con ello mejora la retención de sustancias en el suelo. Además es la encargada de proporcionar el color oscuro a las tierras y así disminuir el albedo.

- Químicas: hay que hablar del efecto tampón en el paso de acidez a basicidad y a la inversa. Por sus características de carga retiene elementos minerales y orgánicos reduciendo las pérdidas de micronutrientes, metales, etc. La materia orgánica supone un aporte de sustancias químicas, como N, P o K que, tras la mineralización, podrán ser asimiladas por los vegetales (Urbano, 2002).

Objetivo:

El principal objetivo del siguiente trabajo es el de caracterizar física y químicamente el suelo de la finca INEA para sentar las bases que puedan servir para la evaluación y desarrollo de su fertilidad en el transcurso del proceso de paso de convencional a ecológico.

La obligación de dejar a las próximas generaciones unos suelos productivos obliga a estudiar los efectos de las prácticas agrícolas actuales (Porta *et al.*, 1999). El suelo edáfico es un recurso no renovable de importancia clave (Ayala-Carcedo, 2002). Un manejo adecuado de la materia orgánica es el corazón de la agricultura sostenible.

Material y Métodos

Este estudio se realiza en la Finca de la Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola “INEA”, en Valladolid. Se trata de una finca de regadío, manejada hasta el 2005 con técnicas de Agricultura Convencional y a partir del 2006 se hizo la transformación a Agricultura Ecológica.

Los muestreos se han realizados en tres parcelas similares de la finca.

Los análisis de suelo se han realizado siempre al final del año agronómico (comprendido entre octubre y enero en función de los ciclos de los cultivos), con anterioridad al nuevo cultivo. De esa manera se ha aportado cada año el abonado correspondiente según las necesidades.

En todos los casos, para obtener las muestras, se tomaron submuestras a 5, 10 y 15 cm de profundidad, en zigzag, en diversos puntos de cada zona a estudiar de la parcela. Estas submuestras se mezclaron hasta homogeneizarlas y se llevaron a un laboratorio de análisis agrícolas en el que se analizaron parámetros químicos y físicos. Los métodos utilizados en el análisis son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. *Métodos utilizados en el análisis de suelo*

Parámetros	Método
Limo (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Arena (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Arcilla (%)	D. Bouyoucos (IAS-02)
Textura	Clasificación USDA (IAS-02)
pH (1/2,5 suelo/agua a 25 °C) (upH)	Potenciométrico (IAS-03)
Conductividad a 25°C (1/5 en agua) (dS/m)	Conductimétrico (IAS-04)
Materia orgánica oxidable (%)	Oxidación con dicromato y volumetría (IAS-05)
Nitrógeno total (%)	Kjeldahl (IAS-06)
Relación C/N	Cálculo (IAS-05 y IAS-06)
Carbonatos totales (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-07)
Caliza activa (%)	Calcímetro de Bernard (IAS-08)
Fósforo asimilable (M. Olsen) (mg/kg suelo)	Espectrofotometría UV/VIS (IAS-09)
Potasio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)
Magnesio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Calcio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Absorción atómica (IAS-10)
Sodio extraído con AcNH ₄ (mg/kg suelo)	Fotometría de llama (IAS-10)

El estudio realizado se apoya en un análisis estadístico descriptivo con mediciones porcentuales realizando una interpretación de análisis de suelos con parámetros estándares establecidos, N, P, K, Ca, Mg, Na salinidad, pH, textura, materia orgánica...

El abono aplicado a partir de la transformación a ecológico (2006) ha sido siempre estiércol de oveja, previamente analizado para el cálculo de la cantidad necesaria a aportar cada anualidad.

Resultados y Discusión

No se produjeron cambios significativos en la textura franco-arenosa del terreno (limo, arena y arcilla) entre las muestras tomadas en las diferentes fechas. Por lo tanto se puede decir que no se produjeron cambios físicos ya que el suelo de origen ya era un suelo franco.

Sin embargo sí que se produjeron cambios químicos, pues se ha observado (figura 1) como entre los años 2004 y 2012 aumentaron de manera significativa la conductividad eléctrica, la materia orgánica oxidable, la relación C/N y el nitrógeno total principalmente.

Nuevamente la figura 1 corresponde a los valores medios de los parámetros químicos del suelo para las tres parcelas estudiadas desde el año 2004 hasta el año 2012. De esta manera puede observarse la evolución sufrida por dichas parcelas en su transformación de agricultura convencional a ecológica a lo largo de 10 años de estudio.

Las tomas de muestras para los análisis se realizaron al principio del año agrícola, en torno a noviembre, por lo que los análisis químicos reflejan los efectos de los restos de cultivos, sus extracciones e interacciones de la campaña precedente sobre el suelo.

Los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo. Se observa como en el transcurso de los años de manejo ecológico del suelo la materia orgánica del suelo incrementa su porcentaje, aunque sigue manteniendo valores bajos para el regadío.

El contenido de N en el suelo (siendo en todos los casos bajo) siguió una tendencia muy similar a la de la materia orgánica ya que unos niveles más altos de nitrógeno se deben a una mayor cantidad de la misma, que será transformada para después liberar el nitrógeno mediante un conjunto de procesos principalmente bioquímicos.

La complejidad de las interacciones entre las distintas especies químicas del fósforo en el suelo entre si y con las activas raíces de las plantas y sus comunidades rizosféricas, reducen de forma importante la predictibilidad de su comportamiento (Hinsinger, 2001).

La evolución del fósforo y del potasio en el suelo (prácticamente en todo momento en concentraciones altas) se asoció más al tipo de cultivo precedente que al sistema de manejo agrícola (ecológico o convencional), ya que, aunque menos agresivo, en agricultura ecológica también se realizaron labores al suelo. Cuando se estudian laboreos de conservación (siembra directa y laboreo mínimo) aparecen cantidades de P significativamente más altas, debido a la inmovilización en la superficie del suelo al permanecer sobre este al no existir labores. En el caso del presente estudio han destacado como concentraciones más bajas de P en los análisis precedidos de cultivo de patata, debido a la exigencia de este cultivo. Así mismo se ha observado unas

mayores concentraciones de K en los análisis precedidos de un cultivo cerealista, por ser los que mayor cantidad de restos orgánicos aportan al suelo (de Torres, 2010).

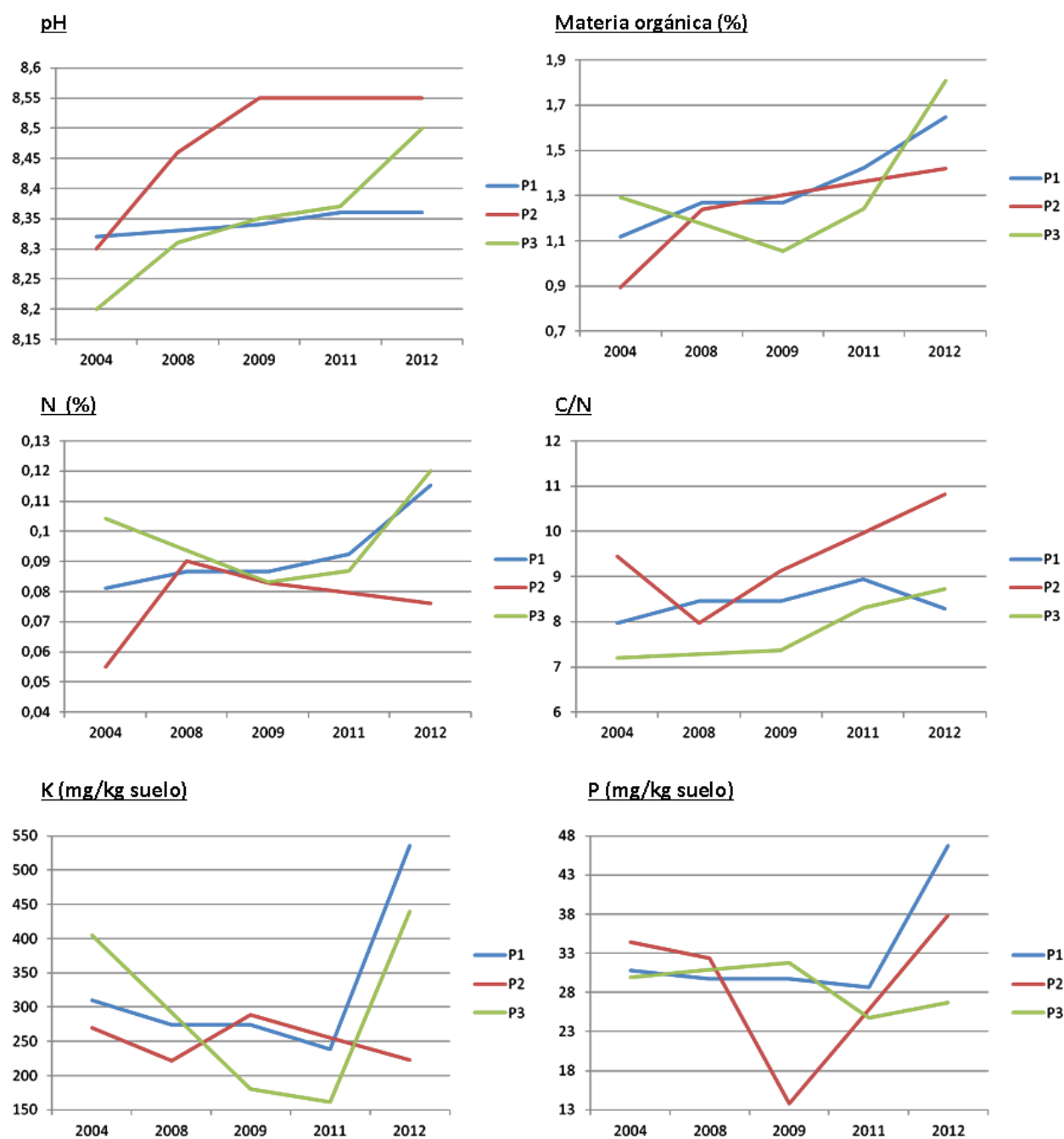


Figura 1. Media de la evolución de los parámetros del suelo para las 3 parcelas estudiadas desde 2004 hasta 2012. P1: Parcela 1, P2: Parcela 2 y P3. Parcela 3. C/N: relación carbono-nitrógeno, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio,

Conclusiones

Se puede observar una mejora en los parámetros químicos del suelo, principalmente la materia orgánica.

La evolución del fósforo y del potasio en el suelo se asoció más a al tipo de cultivo precedente que al sistema de manejo agrícola.

Bibliografía

- Ayala-Carcedo, F. J. 2002. Erosión y cambio climático. La tierra que todos deseáramos. Desertificación: razones, alcance y soluciones. N° 50.
- Baldock, J.A., Nelson, P.N. 2000. Soil organic matter. pp. B25-B84. In M.E. Sumner et al. (Eds.). Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, U.S.A.
- Castro, C., Lourenço, A., Guimaraes, M. de F., Fonseca, I.C.B. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. Soil and Tillage Research, 65 (2002): 45-51.
- Chan, K.Y. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils. Soil and tillage research, 57: 179-191.
- De Torres, J., 2010. Evaluación de técnicas de cultivo y variedades, mediante parámetros agronómicos y edáficos, para la optimización de una rotación en secano semiárido en régimen ecológico, basada en cereales y leguminosas grano. Tesis Doctoral. Universidad de León. Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias.
- Epperlein, J. 2003. Development of the biological activity in different tillage systems. Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy, 2003: 387-393.
- Feng, Y, Motta, A.C., Reeves, DW, Burmester, C.H., van Santen, E., Osborne, J.A. 2003. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. Soil biology and biochemistry, 35 (12): 1693-1703.
- González, A., Redondo, F., Arrebola, F., Casado, J., Camps, M.J., Rull, P., Sánchez, R., 2011. Manual de conversión a la producción ecológica. Sevilla: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación. 57-58.
- González-Fernández, P. 2003. La fertilización en el laboreo de conservación. Agricultura, 853: 518-524.
- Hinsinger, P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant and soil 237: 173-195.
- Li, J.M., Kremer, R.J. 2000. Rhizobacteria associated with weed seedlings in different cropping systems. Weed science, 48(6): 734-741.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., López-Bellido F.J. 2000. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions. Agronomy journal, 92: 1054-1063.
- Lupwayi, N.Z., Arshad, M.A., Rice, W.A., Clayton, G.W. 2001. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. Applied soil ecology, 16: 251-261.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. 2ª Edición.
- Reicosky, D.C., 2003. Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. Conservation agriculture environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy: 3-12.
- Sumner, M.E. (Editor in Chief). 2000. Handbook of soil science. CRC Press LLC.
- Urbano Terrón, P. 2002. Fitotecnia. Ingeniería de la producción vegetal. Mundi-Prensa.

P07 - CarbonFT. Estimación de la huella de carbono en plantaciones de cítricos mediante dispositivos móviles

Aleixos, N.¹, Iglesias, D.², García Fernandez-Pacheco, D.³, Espinosa, M.F.², Cubero, S.⁴, Blasco, J.^{4*}

¹ Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España. naleixos@dig.upv.es; ⁴ Centro de Citricultura y Producción Vegetal, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Ctra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. iglesias_dom@gva.es; ³ Departamento de Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena 30202, Spain. daniel.garcia@upct.es; ⁴ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Cra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. blasco_josiva@gva.es* Corresponding author

Resumen

Existe hoy en día una concienciación mundial por reducir los llamados gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera y en especial el CO₂, dada su influencia negativa en el calentamiento global. El cultivo de cítricos es uno de los más importantes en el mundo y por ello la estimación de su huella de carbono resulta de gran relevancia, y más en un contexto de cambio climático. Este trabajo presenta el desarrollo de la aplicación CarbonFT para dispositivos móviles que realiza la estimación de la huella de carbono en plantaciones de cítricos. El usuario debe introducir mediante un interfaz amigable algunos datos relativos a la plantación a analizar, tales como la edad y superficie de la plantación, la densidad del cultivo (mediante el número de árboles por hectárea o el marco de plantación) y el tipo de riego. Una vez introducidos los datos y tras pulsar el botón de cálculo se ofrecen los resultados de cantidad de CO₂ en toneladas que la plantación es capaz de fijar por año. Además, se presenta una escala de bondad fácilmente comprensible dónde se sitúa la plantación y se acompaña con una explicación del resultado seguida de una serie de recomendaciones con objeto de mejorar la captación de carbono por parte de la parcela en cuestión. La aplicación se puede ejecutar en cualquier dispositivo móvil con el sistema operativo Android y está disponible para su descarga gratuita en la plataforma Google Play Store.

Palabras clave: Huella de carbono, captación de carbono, cítricos, dispositivos móviles, Android

CarbonFT. Estimation of the carbon footprint of citrus groves using mobile devices

Abstract

There is a worldwide awareness today called for reducing greenhouse gases emitted into the atmosphere, and especially the CO₂ given its negative influence on global warming. Citrus is one of the most important crops in the world and therefore estimate the carbon footprint of this crop is of great relevance in the context of climate change. This paper presents the development of the application CarbonFT that performs the estimation of the carbon footprint in citrus groves using a mobile device. The user must enter through a friendly interface some data on the plantation to be analyzed, such as age and area of planting, crop density (by the number of trees per hectare or plantation framework) and type of irrigation. Once the data is introduced the results show the amount of CO₂ in tons that the planting is able to fix per year. In addition, a colour scale easy to understand shows the capability of the plantation to capture the CO₂ and is accompanied by an explanation of the results and a series of recommendations to improve the capability of the carbon capture. The application runs on any mobile device with Android operating system and is available for free download in the Google Play Store platform.

Keywords: Carbon footprint, carbon capture, citrus, mobile devices, Android

Justificación

La huella de carbono se define como la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos como consecuencia de las actividades de producción y consumo de los seres humanos. Se trata de un parámetro que proporciona una buena estimación de la capacidad de mitigación del cambio climático que tiene cualquier actividad humana, y más en un contexto de cambio climático.

El potencial de los vegetales para fijar CO₂ los convierte en una herramienta muy útil para secuestrar o absorber carbono de la atmósfera, siendo esencial conocer el papel que una actividad tan importante como el cultivo de los cítricos tiene sobre el entorno en este contexto. En concreto, el conjunto de las plantaciones adultas de cítricos existente en la Comunidad Valenciana es responsable de una fijación neta anual comprendida entre 800.000 y 900.000 t de CO₂ (Iglesias *et al.*, 2011), cifra nada desdeñable desde una perspectiva agroecológica.

Al contrario de lo que sucede en el caso de las especies forestales, el conocimiento específico de la capacidad potencial de los cultivos de cítricos para mitigar el cambio climático es escaso. Y eso que, dadas sus características fisiológicas recientes investigaciones apuntan a que las especies de hoja perenne tienen un elevado potencial para la fijación del carbono de la atmósfera (Gratani *et al.*, 2008). Estudios previos de carácter destructivo han demostrado que los cítricos parecen especialmente interesantes al respecto (Evrendilek *et al.*, 2005; Liguori *et al.*, 2009). Sin embargo, las proyecciones predictivas son difíciles de obtener a partir de estudios destructivos debido a las diferencias en el manejo del cultivo, la ubicación geográfica, los cambios interanuales, etc. (Osborne *et al.*, 2010). Trabajos recientes han confirmado no sólo que dicha hipótesis es cierta, sino que los huertos de cítricos podrían constituir importantes sumideros de C en zonas mediterráneas (Iglesias *et al.*, 2013), llegando a ser responsables de una tasa de fijación de C neta superior a 10 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ cuando están en plena actividad. Estos datos son muy relevantes en un escenario de cambio climático y de especial importancia para España ya que es uno de los principales productores mundiales de este cultivo.

Hoy por hoy, no existe una legislación que obligue o premie el impacto de la huella de carbono de las plantaciones. Sin embargo, existe una tendencia social y económica a la regularización de este tipo de actividades agrícolas, lo que hace muy recomendable el orientar las prácticas agrícolas habituales con un mayor respeto al medio ambiente. Pero para que esto sea efectivo, es importante ofrecer al agricultor herramientas visuales que puedan utilizar con facilidad y les ofrezcan datos, estimaciones y recomendaciones útiles sobre sus cultivos y necesidades particularizadas a partir de algunos parámetros de los mismos.

Una forma de hacer llegar estas herramientas a los agricultores es a través del desarrollo de aplicaciones específicas implementadas en teléfonos móviles inteligentes. En la actualidad, estos dispositivos son prácticamente ordenadores de mano relativamente baratos que se pueden utilizar en cualquier lugar, y cuya alta capacidad de procesamiento y la integración de sensores de alta resolución embebidos en los propios dispositivos los convierte en soluciones realmente prácticas para muchas tareas relacionadas con la agricultura y la ganadería. Ejemplos claros de esto es el uso del teléfono móvil para calcular los parámetros de radiación solar (Molina-Martínez, *et al.*,

2011), para la programación del riego (Bartlett *et al.*, 2015), para estimar del índice de nitrógeno (Delgado *et al.*, 2013), para el manejo del viñedo (Cunha *et al.*, 2010), para la vigilancia del ganado en tiempo real (Hwang *et al.*, 2013), para obtener información de los terrenos para la aplicación precisa de los subsidios agrícolas (Mesas-Carrascosa *et al.*, 2012) o para la creación de sistemas de soporte de decisiones para guiar a los agricultores en la selección de los cultivos alternativos (Antonopoulou *et al.*, 2010). Incluso se empiezan a usar como sistemas de visión artificial compactos, como por ejemplo para capturar imágenes de los plátanos y estimar su madurez en función de la medida del color (Intaravanne *et al.*, 2012), para evaluar el color del suelo mediante la implementación de un modelo Munsell (Gómez-Robledo *et al.*, 2013), e incluso para predecir el rendimiento de huertos de cítricos mediante la adquisición y procesamiento de imágenes (Gong *et al.*, 2013).

La aplicación presentada en esta comunicación es el primer software de estas características disponible para dispositivos móviles. Además, su sencilla interfaz y el hecho de que proporcione recomendaciones para un cultivo más sostenible en términos de fijación de carbono de la atmósfera lo hace único y muy práctico tanto para el pequeño agricultor como para su uso en grandes plantaciones. Así pues, esta aplicación está diseñada para permitir su uso a cualquier persona no experimentada que desee conocer cuál es la capacidad de fijación de CO₂ de su parcela de cítricos.

Materiales y Métodos

Para desarrollar la aplicación se utilizó un teléfono móvil Samsung Galaxy S III (GT-I93300, Samsung Electronics, Seoul, Corea del Sur) con versión Android 4.1.2, con tamaño y resolución de pantalla de 4.8" y 720x1280 píxeles respectivamente, memoria RAM de 1 GB y procesador ARM Cortex-A9 MPcore. La programación se ha realizado utilizando el paquete de desarrollo de software para Android (<http://developer.android.com/sdk/terms.html>), y el entorno de programación Eclipse (<http://www.eclipse.org/org/documents/epl-v10.php>) con lenguaje Java. La implementación se ha realizado para Android debido a que es el sistema operativo más extendido actualmente en tecnología móvil (Puder y Antebi, 2013) y a que permite usar y programar código abierto usando licencias libres.

En relación a las plantaciones de cítricos, la cantidad de carbono fijado es responsable de mantener el crecimiento de los viejos y nuevos órganos, incluida la fruta. Un enfoque complementario no destructivo presentado en el estudio por Iglesias *et al.* (2013) no sólo confirmó estos datos, sino que también reveló que una fracción principal de C anualmente fijado se encuentra en los nuevos órganos. Los procesos de asimilación fotosintética en hojas son responsables de la mayor proporción de C fijado. En condiciones culturales típicas (riego por goteo y de ausencia de cobertura del suelo), las tasas de respiración del suelo representaron un bajo porcentaje de pérdida de C del ecosistema (Iglesias *et al.*, 2011).

Siguiendo estos trabajos, para el cálculo de la fijación de CO₂ se ha definido una serie de variables cualitativas. Estas variables son: la edad de la plantación, la densidad de la plantación y el tipo de riego. La plantación se considera adulta (*PA*) o joven (*PJ*) en función de que tenga más o menos de ocho años. La densidad se considera intensiva (*DI*) o normal (*DN*) según hayan plantados más o menos de 500 árboles ha⁻¹. El tipo de riego puede ser localizado (*RL*) o por inundación (*RI*). Cada posible combinación de

estas variables determina un valor de CO₂ por ha según se muestra en la tabla 1. El valor total de la plantación, estimado en toneladas de CO₂ por año, se calcula multiplicando este valor por la superficie total (en ha) de la parcela bajo estudio. En la Figura 1 se observa el proceso general del flujo de CO₂ para una plantación cítricola.

Tabla 1. Variables agronómicas utilizadas para el cálculo, donde PPB_a : carbono total fijado en la producción primaria bruta anual, PPB_f : carbono fijado en la cosecha, PPB_{ve} : carbono fijado en la producción primaria bruta anual de malas hierbas, RAS : respiración anual del suelo, PN : fijación neta de carbono en la plantación ($PPB - RAS$), PNR : fijación neta real de carbono en la plantación ($PN - PPB_f$), AN_{CO_2} : asimilación neta de CO₂ por la plantación ($PN \times 3,66$), ANR_{CO_2} : asimilación neta real de CO₂ por la plantación ($PNR \times 3,66$), L_{CO_2} : CO₂ emitido en las labores de cultivo, B_{CO_2} : balance del CO₂ en la plantación ($ANR_{CO_2} - L_{CO_2}$)

Tipo de plantación	PPB_a (Tm C ha ⁻¹)	PPB_f (Tm C ha ⁻¹)	PPB_{ve} (Tm C ha ⁻¹)	RAS (Tm C ha ⁻¹)	PN (Tm C ha ⁻¹)	PNR (Tm C ha ⁻¹)	AN_{CO_2} (Tm CO ₂ ha ⁻¹)	ANR_{CO_2} (Tm CO ₂ ha ⁻¹)	L_{CO_2} (Tm CO ₂ ha ⁻¹)	B_{CO_2} (Tm CO ₂ ha ⁻¹)
PA, DN, RI	10,35	3,82	2,43	7,02	5,76	1,94	21,08	7,10	0,95	6,15
PA, DN, RL	10,85	4,40	0,38	4,26	6,97	2,57	25,51	9,40	0,63	8,77
PA, DI	12,32	5,20	0,32	5,7	6,94	1,74	25,4	6,36	0,67	5,69
PJ, DN	0,65	0,06	1,58	2,05	0,18	0,12	0,65	0,43	0,33	0,10
PJ, DI	1,15	0,14	1,42	2,41	0,16	0,02	0,58	0,07	0,36	-0,29

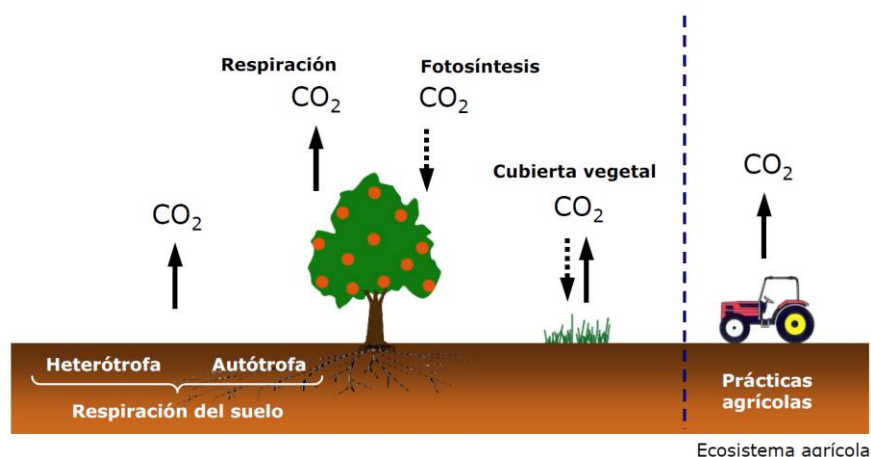


Figura 1. Componentes que integran el balance del carbono en un ecosistema agrícola (fuente Levante Agrícola, 3^{er} trimestre 2011)

Resultados y Discusión

La aplicación desarrollada permite calcular la huella de Carbono en plantaciones de cítricos. Cuando se inicia la aplicación, aparece en formato vertical una ventana de introducción de datos relativos a la plantación a analizar (ver Figura 2). Los datos que se deben introducir son:

- Edad de la plantación en años.
- Densidad del cultivo: a través de número de árboles por hectárea o del marco de la plantación ($n \times m$, siendo n y m la separación en metros entre dos árboles de una misma fila y entre dos filas, respectivamente).
- El tipo de riego.

- La superficie de la plantación en hectáreas.

Una vez introducidos los parámetros que caracterizan la plantación y accionado el botón de Calcular CO₂, se muestra una pantalla de resultados con la siguiente información:

- Cantidad de CO₂ (en t) que la plantación es capaz de fijar por año.
- Indicador visual que apunta a la zona donde se situaría la plantación con la escala correspondiente.
- Breve explicación del resultado y recomendación acerca de la plantación analizada.

The screenshot shows the 'Datos a introducir' (Data to enter) screen of the CarbonFT application. It has a dark background with white text and input fields. At the top, there's a title 'Cálculo de la huella de Carbono de plantaciones de cítricos' and a small logo. Below the title, there are four numbered input sections: 1. 'Edad de la plantación (años):' with a text input field. 2. 'Densidad del cultivo:' with two radio buttons: 'Árboles (pies/ha):' (selected) and 'Marco de plantación (m x m):'. 3. 'Tipo de riego:' with two radio buttons: 'Localizado' (selected) and 'Por inundación'. 4. 'Superficie de plantación (ha):' with a text input field. At the bottom, there is a 'Calcular CO2' button.

Figura 2. Pantalla del interfaz de la aplicación CarbonFT

La aplicación ofrece hasta cinco resultados cualitativos dependiendo de los datos de entrada, mediante un indicador visual que representa gráficamente la cantidad de CO₂ que se fija en la parcela por hectárea y año en una escala comprendida entre -0,5 y 10 t. Finalmente, y en función del resultado, la aplicación muestra un gráfico intuitivo de dónde se situaría la plantación de cítricos analizada y ofrece algunas recomendaciones útiles para la mejora de la misma (Figura 3):

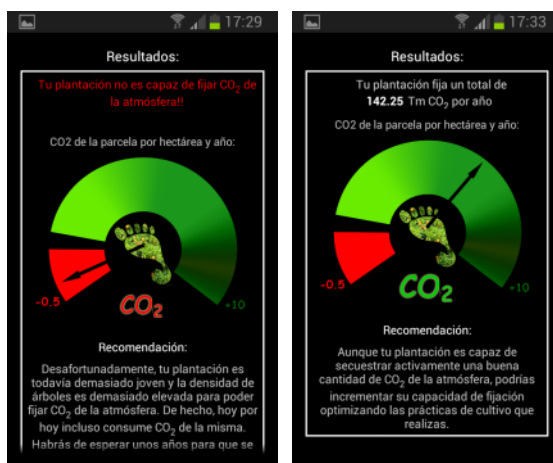


Figura 3. Ejemplos de visualización de resultados de la aplicación CarbonFT

Entre las principales ventajas de esta aplicación destaca el hecho de que se puede utilizar de una forma muy sencilla por cualquier agricultor sin que necesite estar familiarizado con equipos de alta tecnología o complejos sistemas de introducción de datos. Esta aplicación se ha implementado sobre el sistema operativo Android y está disponible en la plataforma Google Play Store a través de <https://play.google.com/store/apps/> (Figura 4).

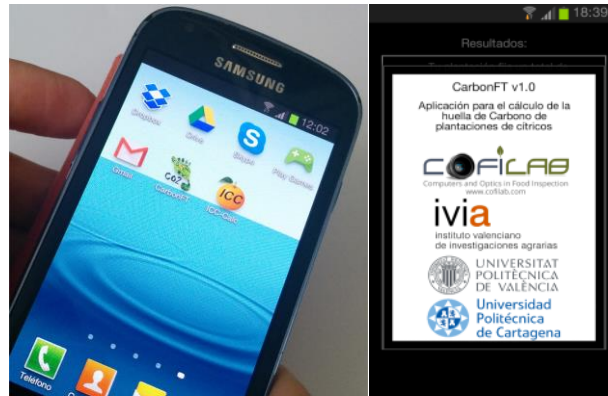


Figura 4. Aplicación CarbonFT.apk (versión 1.0)

Conclusiones

Se ha desarrollado una aplicación de cálculo de la huella de carbono para plantaciones de cítricos. El hecho de que se haya implementado para uno de los sistemas operativos más extendidos facilita su implementación y uso por un agricultor medio, permitiendo conocer de una manera rápida el estado de la plantación y obteniendo a la vez consejos útiles para su manejo, incluso para usuarios no expertos. La estimación del valor de fijación de CO₂ se ha realizado en base a estudios previos desarrollados por los autores y publicados en artículos científicos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con fondos INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03, con fondos Europeos FEDER y con el acuerdo de colaboración UPV-IVIA (Ref.: UPV-2013000005).

Bibliografía

- Antonopoulou, E., Karetos, S.T., Maliappis, M., Sideridis, A.B. (2010) Web and mobile technologies in a prototype DSS for major field crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70, 292–301.
- Bartlett, A.C., Andales, A.A., Arabi, M., Bauder, T.A. (2015) A smartphone app to extend use of a cloud-based irrigation scheduling tool *Computers and Electronics in Agriculture*, 111, 127–130.
- Cunha, C.R., Peres, E., Morais, R., Oliveira, A.A., Matos, S.G., Fernandes, M.A., Ferreira, P.J.S.G., Reis, M.J.C.S. (2010) The use of mobile devices with multi-tag technologies for an overall contextualized vineyard management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73, 154–164.
- Delgado, J.A., Kowalski, K., Tebbe, C. (2013) The first Nitrogen Index app for mobile devices: Using portable technology for smart agricultural management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 121–123.
- Evrendilek, F., Ben-Asher, J., Aydin, M., Celik, I., 2005. Spatial and temporal variations in diurnal CO₂ fluxes of different Mediterranean ecosystems in Turkey. *J. Environ. Monit.*, 7, 151–157.
- Gómez-Robledo, L., López-Ruiz, N., Melgosa, M., Palma, A.J., Capitán-Vallvey, L.F., Sánchez-Marañón, M. 2013. Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: An experiment under controlled illumination conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 200–208.

- Gong, A., Yu, J., He, Y., Qiu, Z. 2013. Citrus yield estimation based on images processed by an Android mobile phone. *Biosystems Engineering*, 115, 162–170.
- Gratani, L., Varone, L., Catoni, R., 2008. Relationship between net photosynthesis and leaf respiration in Mediterranean evergreen species. *Photosynthetica*, 46, 567–573.
- Hwang, J., Jeong, H., Yoe, H. 2013. A study on the real-time livestock monitoring system using mobile platform. *International Journal of Smart Home*, 7, 137–144.
- Iglesias DJ, Quiñones A, Martínez-Alcántara B, Forner-Giner MA, Legaz F, Primo-Millo E. 2011. El papel de los cítricos en la mitigación del cambio climático: una aproximación al estudio de su huella de carbono. *Levante Agrícola*, 407, 204–215.
- Iglesias DJ, Quiñones A, Font A, Martínez-Alcántara B, Forner-Giner MA, Legaz F, Primo-Millo E. 2013. Carbon balance of citrus plantations at Eastern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 171, 103–111.
- Intaravanne Y., Sumriddetchkajorn S., Nukeaw J. 2012. Ripeness Level Indication of Bananas with Visible and Fluorescent Spectral Images. 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). IEEE Conference Publications, Doi 10.1109/ECTICon.2012.6254230, 1–4.
- Liguori, G., Gugliuzza, G., Inglese, P. 2009. Evaluating carbon fluxes in orange orchards in relation to planting density. *J. Agric. Sci.*, 147, 637–645.
- Mesas-Carrascosa, F.J., Castillejo-González, I.L., de la Orden, M.S., García-Ferrer, A. 2012. Real-time mobile phone application to support land policy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85, 109–111.
- Molina-Martínez, J. M., Jiménez, M., Ruiz-Canales, A., Fernández-Pacheco, D. G. 2011. RaGPS: A software application for determining extraterrestrial radiation in mobile devices with GPS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 78, 116–481.
- Osborne, B., Saunders, M., Walmsley, D., Jones, M., Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 293–301.
- Puder, A., Antebi, O. 2013. Cross-compiling Android applications to iOS and Windows Phone 7. *Mobile Netw. Appl.*, 18, 3–21.

P08 - Qualidade fisiológica de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidos a diferentes substratos e temperaturas

R. de Lucena Alcântara Bruno¹, S. do R. Nascimento dos Santos²; K. Belarmino da Silva²; E. Ursulino Alves¹; A. Pereira de Andrade¹; E. de Oliveira Silva²; A. I. Barbosa de Azevedo²

¹ UFPB, Centro de Ciências Agrárias - Campus II, Rodovia BR 079 - Km 12, CEP 58.397-000, Areia, PB, Brasil, lanebruno.bruno@gmail.com; ursulinoalves@hotmail.com; albericio@uol.com.br; ² UFPB, Programa de Pós-graduação em Agronomia, CCA - Campus II, Rodovia BR 079 - Km 12, CEP 58.397-000, Areia, PB, Brasil, ninoagro@hotmail.com; karialane@hotmail.com; edna.os@hotmail.com; ianeazevedo.bio@gmail.com .

Resumo

Myracrodruon urundeuva (Anacardiaceae), conhecida vulgarmente como aroeira, possui elevado potencial sócio-econômico, sendo os frutos utilizados nas ciências farmacêuticas e a madeira na construção civil e no abastecimento de fornos industriais. Portanto, o conhecimento das condições que favoreçam a germinação dos diásporos desta espécie é de grande importância. Dessa forma, objetivou-se identificar os substratos e temperaturas mais adequados para a avaliação da qualidade fisiológica de diásporos de *M. urundeuva*. O ensaio foi conduzido na Universidade Federal da Paraíba/Centro de Ciências Agrárias/Areia-PB, sendo utilizados diferentes substratos (entre e sobre): areia, vermiculita, basaplant[®], papel mata-borrão[®] e rolo de papel germitest[®] combinados com as temperaturas constantes de 20, 25, 30, 35 e 40 °C e alternada de 20-30 °C. As variáveis analisadas foram: teor de água, germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento de raiz principal e de parte aérea, massa seca de raízes e de parte aérea. Com base nos resultados, o teste de germinação deve ser conduzido nas seguintes condições: entre basaplant[®], a 20-30 °C; sobre papel, a 30 °C ou rolo de papel, a 25, 30, 35 e 20-30 °C. Maiores índices de velocidade de germinação são alcançados com emprego dos substratos entre vermiculita, sobre e entre basaplant[®], sobre e entre papel, a 30 e 35 °C, bem como em rolo de papel, a 25, 30, 35 e 20-30 °C. Plântulas mais vigorosas são obtidas com os diásporos semeados no substrato sobre areia a 25 °C (comprimento e massa seca de raízes e parte aérea). A temperatura constante de 40 °C é prejudicial à germinação dos diásporos e desenvolvimento inicial de plântulas de *M. urundeuva*.

Palavras-chave: Aroeira, Ecofisiologia, Espécie medicinal.

Physiological quality of *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) diaspores subject to different substrates and temperatures

Abstract

Myracrodruon urundeuva (Anacardiaceae), commonly known as *aroeira* has a high socio-economic potential, with fruit used in the pharmaceutical sciences and wood in the civil construction and supply of industrial ovens. Therefore, knowledge of the conditions that favor the germination of the seeds of this species is of great importance. This work aimed to identify the most suitable substrates and temperatures to evaluate the physiological quality of *M. urundeuva* diaspores. The essay was conducted at the Universidade Federal da Paraíba/ CCA/ Areia-PB, with different substrates (between and under): sand, vermiculite, basaplant[®], mata-borrão[®] paper and germitest[®] combined with the constant temperature of 20, 25, 30, 35, 40 °C and alternating 20-30 ° C. The variables analyzed were: water content, germination, germination speed index, main root and shoot length, dry weight root and shoot. Based on the results, the germination test should be conducted under the following conditions: between basaplant[®], at 20-30 ° C; on paper at 30 ° C and paper roll at 25, 30, 35 and 20-30 ° C. Higher germination speed index are achieved with use of substrates between vermiculite, on and between basaplant[®], on and between paper at 30 and 35 ° C, as well as in paper roll, at 25, 30, 35 and 20-30 ° C. More vigorous seedlings

are obtained with the diaspores sown in the substrate on sand at 25 ° C (length and dry weight of roots and shoots). The constant temperature of 40 ° C is damaging to the germination of the seeds and initial development of *M. urundeuva* seedlings.

Keywords: Aroeira, Ecophysiology, Medicinal specie.

Introdução

A espécie *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae), conhecida vulgarmente como aroeira é amplamente distribuída na América do Sul, sendo que no Brasil ocorre naturalmente nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-oeste (Dorneles *et al.*, 2005). A mesma possui potencial sócio-econômico, sendo os frutos utilizados nas ciências farmacêuticas, a madeira na construção civil e no abastecimento de fornos de indústrias (Medeiros *et al.*, 2000).

O conhecimento de tecnologias que favoreçam a germinação dos diásporos de *M. urundeuva* é de grande relevância para programas de conservação, uma vez que a mesma encontra-se na categoria vulnerável da lista de espécies ameaçadas de extinção (IBAMA, 2008), necessitando de estudos que garantam sua sobrevivência, viabilizando a utilização em solos não incorporados ao sistema produtivo da região (Melloni *et al.*, 2000).

O processo germinativo é influenciado por fatores como luz, temperatura, substrato e umidade da semente. Segundo Rebouças *et al.* (2009), o conhecimento desses fatores é de grande importância para a compreensão dos aspectos ecofisiológicos nas sementes, sendo de extrema necessidade subsidiar projetos que visem a produção e o manejo sustentável de espécies nativas de uso popular. A temperatura ótima para as sementes de cada espécie é a que ocorre a maior porcentagem de germinação no menor tempo possível, mas além de uma faixa ótima, as sementes de algumas espécies ainda precisam de alternância para que o processo ocorra satisfatoriamente (Santos e Aguiar, 2000).

Para o teste de germinação, a escolha do substrato adequado também tem fundamental importância, devendo conter boas condições de aeração, umidade e baixo grau de infestação por patógenos, uma vez que tais fatores influenciam diretamente no desencadeamento do processo germinativo (Wagner Júnior *et al.*, 2006). Geralmente os substratos comercializados têm características físico-químicas adequadas à formação inicial de diversas espécies, porém, o alto custo pode inviabilizar a produção, necessitando de estudos a fim de se obter um substrato composto por materiais de fácil acesso pelo produtor, com características químicas, físicas, biológicas e econômicas desejáveis (Danner *et al.*, 2007).

Na literatura constam estudos que visaram identificar as condições de temperatura e substrato mais adequados a germinação de sementes de *M. urundeuva*; entretanto, se faz necessário uma padronização, haja vista a importância da pesquisa para adequação de testes laboratoriais de germinação com sementes desta espécie, uma vez que o período das leituras relatadas foi bem diversificado. Dentre os trabalhos realizados, Pacheco *et al.* (2006) avaliaram oito substratos (entre e sobre: papel mata-borrão, areia, vermiculita e pó de coco) e sete temperaturas (25, 27, 30, 35, 20-27, 20-30 e 20-35 °C) na germinação de diásporos de *M. urundeuva*. Os mesmos destacaram as temperaturas de 25 e 27 °C em todos os substratos testados, exceto para o substrato entre papel a 27 °C. Os substratos vermiculita e pó de coco foram indicados por manterem a umidade

durante a realização do teste (10 dias). Em sementes da mesma espécie, Guedes *et al.* (2011) testaram as temperaturas de 25, 30 e 35 °C constantes e 20-30 °C alternada, juntamente com os substratos areia, vermiculita, bioplant[®], plantmax[®], entre e sobre papel mata-borrão e papel-toalha organizado na forma de rolo, verificando que a temperatura de 30 °C e o substrato areia são os mais indicados para testes de germinação e vigor dessas sementes.

As Instruções para Análise de Sementes de Espécies Florestais (Brasil, 2013) recomendam a condução do teste de germinação de diásporos de aroeira em substrato rolo de papel, nas temperaturas de 25 ou 20-30 °C, com primeira contagem aos 14 e final aos 25 dias. Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi determinar os substratos e as temperaturas mais adequados para a avaliação da qualidade fisiológica de diásporos de *M. urundeuva*.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, localizado no município de Areia - PB, com diásporos coletados de nove plantas, em 2012, no município de Santa Luzia - PB e, encaminhados ao LAS para beneficiamento (remoção das alas e impurezas) e homogeneização. Os substratos testados (entre e sobre) foram: areia, vermiculita, basaplant[®], papel mata-borrão e rolo de papel (germitest[®]), combinados com as temperaturas constantes de 20, 25, 30, 35, 40 °C e alternada de 20-30 °C. O umedecimento dos substratos areia, vermiculita e basaplant[®] foi realizado visando-se atingir 60% da capacidade de retenção de água; os substratos papel mata-borrão e rolo de papel foram umedecidos com volume de água equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco.

O efeito dos substratos e temperaturas sobre o desempenho germinativo das sementes de *M. urundeuva* foi avaliado pelas seguintes determinações e variáveis:

Teor de água - determinado pelo método padrão da estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, utilizando-se quatro repetições de 25 diásporos, segundo Brasil (2009).

Teste de germinação - os diásporos foram postos para germinar em caixas de acrílico transparentes com dimensões de 11 x 11 x 3,5 cm, contendo os substratos e, acondicionados em germinador tipo B.O.D. As contagens das plântulas normais emersas foram realizadas diariamente, por um período de 10 dias após a semeadura, quando houve a estabilização (Pacheco *et al.*, 2006); foram consideradas normais as plântulas com características condizentes com as prescritas por Brasil (2009).

Comprimento de raiz principal e parte aérea de plântulas - ao final do teste de germinação as plântulas normais de cada repetição foram divididas em raiz e parte aérea e mensuradas com régua graduada em centímetros, sendo os resultados expressos em centímetro por plântula.

Massa seca de raízes e parte aérea de plântulas - após medição, as plântulas foram separadas em raiz e parte aérea, sendo em seguida, colocadas em sacos de papel do tipo Kraft e acondicionadas em estufa regulada a 65 °C, até atingir peso constante. A pesagem do material seco foi realizada em balança com precisão de 0,0001 g e o peso para cada repetição dividido pelo número total de plântulas, sendo os resultados expressos em miligrama por plântula.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, em quatro repetições de 25 diásporos, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 9x6 (substratos e temperaturas). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F para comparação dos quadrados médios e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O teor médio de água dos diásporos de *M. urundeuva* no momento da instalação do experimento foi de 10,4% e, verificou-se interação significativa ($P < 0,05$) entre substrato e temperatura para todas as variáveis avaliadas.

As temperaturas constantes de 25 e 35 °C, além da alternada de 20-30 °C proporcionaram aos diásporos elevada porcentagem de germinação de diásporos de *M. urundeuva* (variando entre 76 e 90%) em todos os substratos testados, exceto sobre vermiculita nas temperaturas de 25 e 20-30 °C; sobre areia na temperatura de 25 °C e entre areia na temperatura de 35 °C (Tabela 1). Ainda destaca-se a importância da utilização do substrato rolo de papel, tendo em vista a sua praticidade em laboratório; além disso, este é recomendado para a referida espécie nas temperaturas de 25 ou 20-30 °C, de acordo com as instruções para análise de sementes de espécies florestais (BRASIL, 2013).

Os resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos de Pacheco *et al.* (2006), em que 25 °C foi favorável ao processo de germinação das sementes; ainda de acordo com estes autores o substrato entre vermiculita seria o mais adequado devido à manutenção da umidade. Recomendação diferente foi indicada por Guedes *et al.* (2011), segundo os quais a temperatura de 30 °C e o substrato areia seriam os mais adequados para testes de germinação e vigor em sementes *M. urundeuva*.

Tabela 3. Porcentagem de germinação de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. submetidos a diferentes substratos e temperaturas.

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
SA	76 Aa	50 cB	70 bA	80 bA	81 aA	30 dC
EA	84 Aa	55 cC	85 aA	65 cB	40 bD	34 dD
SV	35 bC	40 dC	59 cB	80 bA	81 aA	28 dD
EV	80 Aa	81 aA	85 aA	81 bA	81 aA	52 bB
SB	80 Aa	75 aB	83 aA	86 bA	85 aA	66 aB
EB	90 aA	74 aB	82 aA	83 bA	86 aA	73 aB
SP	86 Aa	82 aA	88 aA	96 aA	89 aA	65 aB
EP	82 Aa	79 aA	80 aA	83 bA	89 aA	43 cB
RP	87 aA	70 bB	86 aA	82 bA	89 aA	50 bC
CV %	8,78					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant®; EB = Entre basaplant®; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

Também foi observado que a 40 °C, independentemente do substrato, a germinação foi baixa para os diásporos de *M. urundeuva* (Tabela 1). Segundo Bradbeer (1988), altas

temperaturas podem facilitar a embebição, mas não permitem o crescimento do embrião ou o estabelecimento da plântula.

Para determinadas espécies, o desempenho germinativo das sementes é favorecido por alternância de temperatura, a exemplo de *Croton floribundus* Spreng (Abdo e Paula, 2006) e temperaturas constantes, como em *Dimorphandra mollis* Benth. (Pacheco *et al.*, 2010). A temperatura de 35 °C favoreceu a germinação de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith (Guedes *et al.*, 2010), enquanto para *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp., 30 °C foi a mais favorável para a germinação das sementes e formação de plântulas (Rosseto *et al.*, 2009). Tais resultados concordam com Stockman *et al.* (2007), quando relataram que resposta fisiológica das sementes é variável em temperaturas e substratos diferentes, logo, a influência desses componentes sobre o processo germinativo pode fornecer subsídios necessários para a área de análise de sementes florestais.

Os melhores resultados do índice de velocidade de germinação ocorreram nas combinações entre a temperatura alternada de 20-30 °C no substrato rolo de papel; na temperatura constante de 25 °C nos substratos sobre basaplant® e rolo de papel; na temperatura constante de 30 °C em todos os substratos testados, exceto entre areia; na temperatura constante de 35 °C em todos os substratos testados, exceto entre areia e sobre vermiculita (Tabela 2).

Em sementes de *Schinopsis brasiliensis* Engl., Santos *et al.* (2014) obtiveram os maiores índices de velocidade de germinação no substrato vermiculita combinado com a temperatura alternada de 20-30 °C, nos substratos sobre papel, areia e vermiculita a 25 °C e no substrato rolo de papel a 30 °C.

Tabela 2. Índice de velocidade de germinação de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. submetidas a diferentes substratos e temperaturas.

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
SA	7,77 cB	3,67 cD	6,33 bC	9,81 aA	10,00 aA	3,11 bD
EA	8,49 bA	2,93 cC	5,39 cB	7,64 bA	4,27 cB	3,50 bC
SV	2,64 eD	3,78 cC	4,89 cC	9,32 aA	7,14 bB	1,61 cD
EV	5,36 dC	5,41 bC	7,45 bB	10,40 aA	9,52 aA	2,89 bD
SB	7,47 cB	7,57 aB	9,98 aA	10,71 aA	10,53 aA	4,35 aC
EB	7,00 cB	6,34 bB	6,85 bB	10,05 aA	10,26 aA	5,34 aB
SP	8,50 bB	7,50 aB	8,98 aB	11,46 aA	11,10 aA	3,58 bC
EP	9,01 bB	6,51 bC	8,92 aB	10,42 aA	11,00 aA	4,25 aD
RP	10,56 aA	8,02 aB	10,02 aA	9,86 aA	11,11 aA	5,75 aC
CV %	14,01					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant®; EB = Entre basaplant®; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

As temperaturas acima da ótima aceleram o processo total de germinação, contudo, deixam-no desorganizado e o número de sementes que conseguem completá-la reduz rapidamente; temperaturas abaixo da ótima reduzem a velocidade da germinação,

expondo as plântulas às condições adversas do ambiente (Guimarães *et al.*, 2006). Os maiores índices de velocidade de germinação em menor espaço de tempo (Tabelas 1 e 2) podem ser obtidos nas temperaturas constante de 25 °C e alternada de 20-30 °C no substrato rolo de papel, assim como a 30 °C sobre areia. Na tabela 3 observam-se os resultados de comprimento de raiz principal de plântulas de *M. urundeuva*, cujos maiores valores foram obtidos ao se utilizar a combinação do substrato sobre areia e sobre vermiculita nas temperaturas de 20 e 25 °C; bem como a alternada de 20-30 °C para vermiculita; sobre basaplant® a 25 e 30 °C; entre basaplant® a 30 °C; entre papel a 20-30 °C e rolo de papel nas temperaturas constantes de 20, 25 e 35 °C. Provavelmente, nos referidos substratos tenha ocorrido maior aeração, o que, aliado a uma degradação das reservas presentes nas sementes tenha favorecido o desenvolvimento das raízes, uma vez que nessa fase todo o desenvolvimento das plântulas se deve à composição química das sementes (Guedes *et al.*, 2011).

Estudando o efeito de temperaturas e substratos em sementes de *M. urundeuva*, Pacheco *et al.* (2006) observaram para o comprimento da raiz primária que a utilização dos substratos entre e sobre areia a 27 °C, entre vermiculita a 20-35 °C, bem como o pó de coco em todas as temperaturas (exceto sobre pó de coco a 20-35 °C) proporcionaram maior sistema radicular das plântulas. O maior comprimento de raiz primária de plântulas de *Amburana cearensis* (Allemão) foi observado nas temperaturas constante de 30 e 35 °C e alternada de 20-30 °C em vermiculita (Guedes *et al.*, 2010).

Tabela 3. Comprimento da raiz principal (cm) de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. oriundas de sementes submetidas a diferentes substratos e temperaturas

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
SA	1,81 bB	2,95 aA	3,30 aA	1,38 dB	1,42 cB	1,46 aB
EA	1,90 bA	2,17 bA	2,32 bA	1,36 dB	1,14 cB	1,67 aB
SV	2,48 aA	2,83 aA	3,17 aA	2,81 bA	2,13 bB	1,33 aC
EV	1,93 bB	2,56 bA	2,58 bA	2,58 bA	2,21 bB	1,06 aC
SB	2,09 bC	2,95 aB	3,60 aA	3,72 aA	2,82 aB	1,41 aD
EB	1,85 bC	2,57 bB	2,50 bB	3,37 aA	2,91 aB	1,42 aC
SP	1,82 bA	1,94 bA	2,00 cA	1,57 dB	1,34 cB	1,50 aB
EP	2,67 aA	2,45 bA	1,73 cB	2,26 cA	2,15 bA	1,05 aC
RP	2,19 bB	3,09 aA	3,05 aA	2,27 cB	3,00 aA	1,05 aC
CV %	17,12					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant®; EB = Entre basaplant®; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

Em relação ao comprimento da parte aérea das plântulas de *M. urundeuva* (Tabela 4), quando os diásporos foram postos para germinar sobre areia a 20 e 25 °C, entre areia a 20-30 °C, sobre vermiculita a 25 e 30 °C, entre vermiculita a 20 e 25 °C, sobre e entre

basaplant® a 35 °C, sobre papel a 20 e 40 °C, entre papel a 20 °C; rolo de papel a 20, 30 °C e 20-30 °C originaram maiores plântulas.

Tabela 4. Comprimento de parte aérea (cm) de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. oriundas de sementes submetidas a diferentes substratos e temperaturas

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
SA	3,45 Ba	2,87 aA	3,43 aA	3,16 bA	3,78 bA	2,02 bB
EA	4,22 aA	2,90 aB	3,57 aB	3,08 bB	3,45 bB	3,54 aB
SV	3,12 bA	2,88 aB	3,39 aA	3,59 aA	3,87 bA	2,17 bC
EV	3,39 bA	3,07 aA	3,66 aA	3,34 bA	3,48 bA	2,18 bB
SB	3,18 bC	3,01 aC	3,91 aB	3,87 aB	4,90 aA	2,23 bD
EB	4,00 aB	3,27 aC	4,04 aB	3,95 aB	4,68 aA	3,08 aC
SP	2,83 bA	2,84 aA	2,61 bA	2,48 cA	2,49 cA	3,00 aA
EP	3,19 bA	2,90 aA	2,88 bA	3,23 bA	3,57 bA	2,10 bB
RP	3,90 aA	3,57 aA	2,69 bB	3,69 aA	3,22 bA	2,10 bB
CV %	13,49					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha, e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant®; EB = Entre basaplant®; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

As melhores combinações térmicas e de substrato para o comprimento da parte aérea das plântulas de *Tabebuia aurea* foram 35 °C em rolo de papel, areia, pó de coco e tropstrato® (Pacheco *et al.*, 2008). Para as plântulas de *Adenanthera pavonina* L., Souza *et al.* (2007) constataram maior comprimento quando as sementes foram postas para germinar a 30 °C no substrato pó de coco, bem como a 35 °C em areia e vermiculita. Na mesma espécie Kissmann *et al.* (2008) verificaram maior comprimento da parte aérea a partir de sementes germinadas a 20-30, 25 e 30 °C, independentemente do substrato (rolo de papel e sobre papel). Nas plântulas de *Peltophorum dubium* Spreng Taubert, os maiores comprimentos ocorreram quando as sementes foram submetidas à temperatura de 20-30 °C no substrato entre areia (Alves *et al.*, 2011).

Quanto a massa seca de raízes das plântulas de *M. urundeuva* as melhores combinações que favoreceram o acúmulo de massa seca nas raízes foram os substratos sobre areia na temperatura constante 25 °C, entre areia na temperatura de 40 °C, entre basaplant® na temperatura de 30 °C e sobre papel nas temperaturas de 30 e 35 °C (Tabela 5).

Para *Phoenix roebelenii* lossi *et al.* (2003) obtiveram maior conteúdo de massa seca nas raízes com os substratos areia e vermiculita. Pacheco *et al.* (2008) observaram maior conteúdo de massa seca no sistema radicular de plântulas de *Tabebuia aurea* (Ridl.) Sand. quando as sementes que as originaram foram submetidas às temperaturas de 20-30 e 30 °C no substrato areia.

Tabela 5. Massa seca de raízes (mg) de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. oriundas de sementes submetidas a diferentes substratos e temperaturas

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
SA	0,728 aC	2,228 aB	2,602 aA	0,307 aE	0,260 aE	0,467 cD
EA	0,192 cC	1,316 bA	1,036 bB	0,356 aC	0,261 aC	1,400 aA
SV	0,388 bC	0,797 cA	0,610 cB	0,392 aC	0,309 aC	0,908 bA
EV	0,250 cB	0,066 fC	1,086 bA	0,295 aB	0,369 aB	0,488 cB
SB	0,364 bB	0,591 dA	0,762 cA	0,334 aB	0,135 bB	0,244 dB
EB	0,382 bA	0,443 eA	0,317 dA	0,330 aA	0,058 bB	0,134 dB
SP	0,240 cA	0,397 eA	0,331 dA	0,245 aA	0,202 aA	0,375 cA
EP	0,179 cB	0,062 fB	0,321 dB	0,196 aB	0,204 aB	1,000 bA
RP	0,153 cB	0,333 eA	0,082 eB	0,157 aB	0,085 bB	0,375 cA
CV %	26,20					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha, e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant[®]; EB = Entre basaplant[®]; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

Pelos dados da tabela 6, referentes a massa seca da parte aérea das plântulas de *M. urundeuva*, observa-se que o substrato sobre areia a 20 e 25 °C, entre areia a 40 °C, entre vermiculita a 25 °C, sobre basaplant[®] a 20-30 °C, entre basaplant[®] a 30 e 20-30 °C, sobre papel a 20-30 °C; entre papel a 40 °C e rolo de papel a 20-30 °C foram às combinações que proporcionaram maior acúmulo de massa seca na parte aérea das plântulas.

O conteúdo de massa seca das plântulas de *Adenanthera pavonina* L. oriundas de sementes submetidas a diferentes temperaturas (18, 25, 30 e 20-30 °C) e substratos (rolo de papel e sobre papel) não diferiu significativamente (Kissmann *et al.*, 2008). No entanto, Guedes *et al.* (2010) observaram que as melhores combinações de temperatura e substrato para o comprimento da parte aérea das plântulas de *Amburana cearenses* (Allemão) foram a temperatura de 35 °C no substrato areia. Para *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert (Alves *et al.*, 2011) não houve influência das temperaturas e substratos sobre o conteúdo de massa seca.

O maior vigor dos diásporos de *M. urundeuva*, por meio da avaliação de comprimento e massa seca de plântulas (Tabelas 3, 4, 5 e 6) foi obtido na temperatura de 25 °C, correlacionando-se aos resultados de Pacheco *et al.* (2006), com destaque para o substrato entre areia, visto que foi o único a adequar-se em todas as variáveis de vigor analisadas.

Tabela 6. Massa seca de parte aérea (mg) de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* oriundas de sementes submetidas a diferentes substratos e temperaturas

Substratos	Temperaturas (°C)					
	20-30	20	25	30	35	40
AS	0,493 aB	0,883 aA	1,018 aA	0,642 bB	0,475 bB	0,530 eB
EA	0,591 aB	0,576 bB	0,638 cB	0,698 aB	0,759 aB	1,483 aA
SV	0,476 aB	0,561 bB	0,565 cB	0,545 bB	0,548 bB	1,153 bA
EV	0,440 aB	0,177 cC	1,106 aA	0,563 bB	0,556 bB	0,952 cA
SB	0,540 aA	0,584 bA	0,486 cA	0,551 bA	0,475 bA	0,376 eA
EB	0,752 aA	0,676 bA	0,530 cB	0,819 aA	0,466 bB	0,551 eB
SP	0,558 aA	0,635 bA	0,525 cA	0,533 bA	0,437 bA	0,725 dA
EP	0,496 aC	0,228 cD	0,868 bB	0,528 bC	0,572 bC	1,600 aA
RP	0,518 aA	0,587 bA	0,330 dB	0,537 bA	0,092 cC	0,725 dA
CV %	21,38					

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha, e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. SA = Sobre areia; EA = Entre areia; SV = Sobre vermiculita; EV = Entre vermiculita; SB = Sobre basaplant[®]; EB = Entre basaplant[®]; SP = Sobre papel; EP = Entre papel e RP = Rolo de papel.

Conclusões

O teste de germinação deve ser conduzido entre basaplant[®], a 20-30 °C; sobre papel, a 30 °C ou rolo de papel, a 25, 30, 35 e 20-30 °C.

Maiores índices de velocidade de germinação são alcançados com a utilização dos substratos entre vermiculita, sobre e entre basaplant[®], sobre e entre papel, a 30 e 35 °C, assim como em rolo de papel, a 25, 30, 35 e 20-30 °C.

Plântulas mais vigorosas são obtidas com diásporos semeados no substrato sobre areia a 25 °C (comprimento e massa seca de raízes e parte aérea).

A temperatura constante de 40 °C é prejudicial à germinação dos diásporos e desenvolvimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão de recursos junto ao projeto de pesquisa aprovado no EDITAL MCT/CNPq N ° 14/2011 e as bolsas de pesquisa do primeiro e segundo autor.

Bibliografia

- Abdo, M.T.V.N., Paula, R.C., 2006. Temperaturas para a germinação de sementes de capixingui (*Croton floribundus* Spreng - Euphorbiaceae). Revista Brasileira de Sementes 28, 135-140.
- Alves, E.U., Andrade, L.A., Bruno, R.L.A., Vieira, R.M., Cardoso, E.A., 2011. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert sob diferentes substratos. Revista Ciência Agronômica 42, 439-447.
- Bradbeer, J.W., 1988. Seed dormancy and germination. (Ed. Glasgow Blackie New York Chapman and Hall), New York. 146p.
- Brasil, 2013. Teste de Germinação. In Instruções para análise de sementes de espécies florestais, Cap. 3 (Ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), pp. 36-79. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS.
- Brasil, 2009. Teste de Germinação. In Regras para Análise de Sementes, Cap. 5 (Ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), pp. 157-224. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS.
- Danner, M.A., Citadin, I., Fernandes Junior, A.A., Assmann, A.P., Mazaro, S.M., Sasso, S.A.Z., 2007. Formação de mudas de jaboticabeira (*Plinia* sp.) em diferentes substratos e tamanhos de recipientes. Revista Brasileira de Fruticultura 29, 179-182.
- Dorneles, M.C., Ranal, M., Santana D.G., 2005. Germinação de diásporos recém-colhidos de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) ocorrente no cerrado do Brasil Central. Revista Brasileira de Botânica 28, 399-408.
- Guedes, R.S., Alves, E.U., Gonçalves, E.P., Braga Júnior, J.M., Viana, J.S., Colares, P.N.Q., 2010. Substratos e temperaturas para testes de germinação e vigor de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. Revista Árvore 34, 57-64.
- Guedes, R.S., Alves, E.U., Gonçalves, E.P., Colares, P.N.Q., Medeiros, M.S.D., Viana, J.S., 2011. Germination and vigor of *Myracrodruon urundeuva* Allemão seeds in different substrates and temperatures. Revista Árvore 35, 975-982.
- Guimarães, R.M., Oliveira, J.A., Vieira, A.R., 2006. Aspectos fisiológicos de sementes. Informe Agropecuário 27, 40-50.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Lista oficial de flora ameaçada de extinção, 2008. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/flora/extincao.htm>>. Acesso em: 07 Fev. 2015.
- Iossi, E., Sader, R., Pivetta, K.F.L., Barbosa, J.C., 2003. Efeitos de substratos e temperaturas na germinação de sementes de tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'Brien). Revista Brasileira de Sementes 25, 63-69.
- Kissmann, C., Scalon, S.P.Q., Scalon Filho, H., Ribeiro, N., 2008. Tratamentos para quebra de dormência, temperaturas e substratos na germinação de *Adenanthera pavonina* L. Ciência e Agrotecnologia 32, 668-674.
- Medeiros, A.C.S., Smith, R.D., Probert, R., Sader, R., 2000. Comportamento fisiológico de sementes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em condições de armazenamento. EMBRAPA, Boletim de Pesquisa Florestal 40, 85-98.
- Melloni, R., Silva, F.A.M., Carvalho, J.G., 2000. Cálcio, magnésio e potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). Cerne 6, 35-40.
- Pacheco, M.V., Matos, V.P., Feliciano, A.L.P., Ferreira, R.L.C., 2008. Germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook f. ex S. Moore. Ciência Florestal 18, 143-150.
- Pacheco, M.V., Matos, V.P., Ferreira, R.L.C., Feliciano, A.L.P., Pinto, K.M.S., 2006. Efeito de temperaturas e substratos na germinação de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae). Revista Árvore 30, 359-367.
- Pacheco, M.V., Mattei, V. L., Matos, V.P., Sena, L.H.M., 2010. Germination and vigor of *Dimorphandra mollis* Benth. seeds under different temperatures and substrates. Revista Árvore 34, 205-213.

- Rebouças, A.C.M.N. Aspectos ecofisiológicos da germinação de sementes de três espécies arbóreas medicinais da caatinga. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- Rosseto, J., Albuquerque, M.C.F., Rondon Neto, R.M., Silva, I.C.O., 2009. Germinação de sementes de *Parkia pendula* (Willd.) Benth. exWalp. (Fabaceae) em diferentes temperaturas. Revista Árvore 33, 47-55.
- Santos, S.R.N., Bruno, R.L.A., Silva, K.R.G., Alves, E.U., Pacheco, M.V., Andrade, A.P., 2014. Adequacy of methodology for germination of diaspores of barauna, *Schinopsis brasiliensis* (Anacardiaceae). Bioscience Journal 30, 737-745.
- Santos, S.R., Aguiar, I.B., 2000. Germinação de sementes de branquilha (*Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs) em função do substrato e do regime de temperatura. Revista Brasileira de Sementes 22, 120-126.
- Souza, E.B., Pacheco, M.V., Matos, V.P., Ferreira, R.L.C., 2007. Germinação de sementes de *Adenanthera pavonina* L. em função de diferentes temperaturas e substratos. Revista Árvore 31, 437-443.
- Stockman, A.L., Brancalion, P.H.S., Novembre, A.D.L.C., Chamma, H.M.C.P., 2007. Sementes de ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand. - Bignoniaceae): temperatura e substrato para o teste de germinação. Revista Brasileira de Sementes 29, 139-143.
- Wagner Júnior, A., Alexandre, R S., Negreiros, J.R.S., Pimentel, L.D., Silva, J.O.C., Bruckner, C.H., 2006. Influência do substrato na germinação e desenvolvimento inicial de plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). Ciência e Agrotecnologia 30, 643-647.

P09 - Contribuição para a componente agro-ambiental da Intervenção Territorial Integrada de Castro Verde - Portugal

Patanita, M.¹; Dôres, J.¹; Colaço, A.² & Canas, F.²

¹Instituto Politécnico de Beja, Departamento de Biociências – Centro de Experimentação Agrícola, Rua Pedro Soares, Campus do IPBeja, 7800-295 Beja, Portugal mpatanita@ipbeja.pt ; jdores@ipbeja.pt;

²Associação de Agricultores do Campo Branco, Av. Bombeiros Voluntários 5, 7780-122 Castro Verde, Portugal aacampobranco@sapo.pt

Resumo:

A componente Agro-ambiental na Intervenção Territorial Integrada (ITI) de Castro Verde inclui apoios para a “Manutenção da rotação de sequeiro cereal - pousio” e para a “Sementeira directa”, para o que foram estabelecidos normativos. A rotação tradicional deverá seguir a seguinte sucessão cultural: cereal primário (trigo) - cereal secundário (aveia); - pousio - pousio com mobilização no final do Inverno. O Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), em colaboração com a Associação de Agricultores do Campo Branco (AACB), iniciou no ano agrícola 2012/2013 um projecto para estudar alternativas culturais (espécies, variedades e itinerários técnicos) com o objectivo de proporcionar informação para apoiar a decisão do empresário agrícola. Instalaram-se ensaios de campo para estudar o comportamento de trigo, de tritcale e de aveia sujeitos a dois factores de estudo: variedade e estratégia de fertilização. Os resultados obtidos mostraram diversidade produtiva dos factores em estudo. Constatou-se, desta forma, melhor adaptação aos condicionalismos edafo-climáticos de algumas espécies/variedades, enquanto que o efeito da estratégia de fertilização não influenciou, de modo significativo, a produção de grão.

Palavras-chave: cereais, forragens, pastagens, produtividade, qualidade.

Contribution to the agro-environmental component of integrated land area of Castro Verde - Portugal

Abstract

The agro-environmental component on Integrated Territorial Intervention (ITI) of Castro Verde includes financial support for "Maintenance of rotation of rainfed cereal – fallow land" and for the "direct seeding", for which were established some normative rules. The traditional rotation should follow the following cultural succession: primary cereal (wheat) - secondary cereal (oat) - fallow - fallow with mobilization in end of winterseason. The Polytechnic Institute of Beja (IPBeja), in collaboration with the Associação de Agricultores do Campo Branco (AACB), started in 2012/2013 the agricultural year a project to study of alternative crops (species, varieties and technical itineraries) with the aim of providing more information and better support for the farmer decision. Field trials were installed to study the wheat, tritcale and oats behavior under two factors of study: variety and fertilization strategy. The results showed productive and qualitative diversity from variables in study. It was found in this way, better adaptation to soil and climatic conditions of some species / varieties, while the effect of fertilization strategy is not influenced in a significant way, the production of grain.

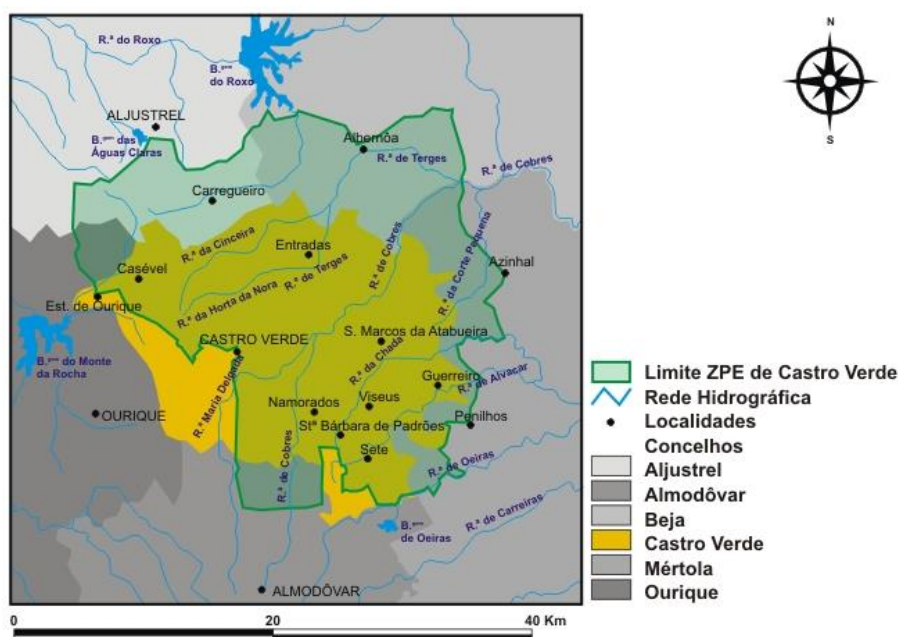
Keywords: cereal, variety, fertilization, yield production.

Introdução

A Intervenção Territorial Integrada (ITI) de Castro Verde é a medida sucessora do Plano Zonal (Medida Agro-ambiental da Política Agrícola Comum, iniciada em 1995, Regulamento CE 2078/92) para o período 2007/2013 criada pela Portaria n.º 232-A/2008, de 11 de Março. O Plano Zonal de Castro Verde foi uma medida concebida especificamente para o território de Castro Verde (Campo Branco), com grande envolvimento dos intervenientes locais e que teve como principais objectivos os seguintes (Sequeira, 2011):

- promover a conservação da Natureza através da manutenção e melhoria quantitativa do habitat da avifauna estepária;
- minimizar as perdas de rendimento agrícola decorrentes de técnicas de cultura e gestão compatíveis com a conservação da natureza;
- contribuir para a conservação de espaços cultivados de grande valor natural.

- obriga uma rotação plurianual entre uma cultura de cereal e o pousio;
- proporciona uma área significativa de pastagens (>50%), que são áreas de reprodução preferenciais para as aves;
- limita o encabeçamento pecuário;
- restringe os trabalhos agrícolas (lavouras, ceifas) para evitar a destruição de ninhos;
- obriga o cultivo de culturas para a avifauna.



A Zona de Protecção Especial (ZPE) de Castro Verde é a área estepária mais importante de Portugal, foi identificada em 1992 pelo Programa Biótopo Corine, classificada ZPE (Rede NATURA 2000) em 1999 e alargada em 2008 (Sequeira, 2011), com 85.345 ha de área total e cerca de 60.000 ha de pseudo-estepe. Abrange território de seis municípios: Aljustrel (19%), Almodôvar (4%), Beja (12%), Castro Verde (85%), Mértola (8%) e Ourique (3%) (ICNF, 2014). Metade da ZPE esteja situada no Concelho de Castro Verde.

A componente Agro-ambiental na Intervenção Territorial Integrada (ITI) de Castro Verde inclui apoios para a “Manutenção da rotação de sequeiro cereal - pousio” e para a “Sementeira directa”, para o que foram estabelecidos normativos. A rotação tradicional deverá seguir a seguinte sucessão cultural: cereal primário (trigo) - cereal secundário (aveia) - pousio - pousio com mobilização no final do Inverno (Cardoso, 2011). Neste contexto, importa avaliar o comportamento agronómico de variedades destes cereais, bem como de tritcale, espécie que se pode constituir como uma alternativa tanto ao trigo como à aveia. Por outro lado, a adubação além de factor de produção determinante na produtividade e na qualidade das culturas, situa-se como um dos que mais contribui para os custos da cultura, razões pelas quais se justifica o estudo do efeito de diferentes estratégias.

A avaliação agronómica de espécies e variedades, bem como a adopção das técnicas culturais mais adequadas requer experimentação e consequente demonstração em condições semelhantes às existentes nas explorações agrícolas. Conscientes desta realidade, a Associação de Agricultores do Campo Branco e o Centro de Experimentação Agrícola do Instituto Politécnico de Beja, iniciaram no ano agrícola de 2012/2013 um projecto de ensaios de campo demonstrativos em cereais, forragens e pastagens. Pretende-se com este projecto divulgar à comunidade agrícola algumas das ofertas das empresas que comercializam sementes, fertilizantes e produtos fitofarmacêuticos, bem como a sua adequada utilização, com o propósito de disponibilizar informação que contribua para apoiar a decisão do empresário agrícola.

Material e Métodos

Os ensaios de campo foram instalados na Herdade da Lagoa da Mó, próximo de Castro Verde, em solos cartografados na Carta de Solos de Portugal n.º 46A como pertencentes à família Px – Solos Mediterrâneos Pardos de xistos ou grauvaques (SROA, 1962), Luvisols, de acordo com a classificação da FAO. Estes solos encontravam-se em pousio há cerca de 15 anos e as análises de solo forneceram os elementos indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise do solo do local do ensaio relativo a cereais praganosos.

Textura manual	Matéria Orgânica (Walkeley & Black)	pH (H ₂ O)	P ₂ O ₅ (Egner-Riehm)	K ₂ O (Egner-Riehm)
Fina	1,2 % (baixo)	6,7 (neutro)	124 mg kg ⁻¹ (alto)	55 mg kg ⁻¹ (médio)

Instalaram-se, no ano agrícola 2012/2013 parcelas com três espécies de cereais (trigo, tritcale e aveia), cada qual com duas variedades (Tabela 2), sujeitas a três estratégias de adubação (Tabela 3). Nestas estratégias as unidades fertilizantes aplicadas em cada espécie/variedade foram idênticas, variando apenas a formulação e a constituição do adubo de acordo com a empresa fornecedora/fabricante (ADP Fertilizantes, Deiba e Cadubal).

A preparação do solo foi realizada com grade de discos e vibrocultor, tendo-se efectuado a sementeira com semeador de linhas no dia 5 de Dezembro de 2012, ocupando cada variedade por estratégia de fertilização uma área aproximada de 500 m². O controlo de infestantes efectuou-se com produtos da empresa SAPEC-AGRO.

Tabela 2. *Espécie de cereal praganoso, variedade, empresa fornecedora, número de sementes germináveis utilizado por unidade de área e correspondente densidade de sementeira.*

Espécie	Variedade	Empresa	Sementes germináveis	Densidade de sementeira
Trigo	‘Ingénio’	Maisadur	400 m ⁻²	200 kg ha ⁻¹
	‘Nogal’	Lusosem	400 m ⁻²	130 kg ha ⁻¹
Triticale	‘Amarillo’	Agrovete	450 m ⁻²	160 kg ha ⁻¹
	‘Trimour’	Lusosem	450 m ⁻²	150 kg ha ⁻¹
Aveia	‘Sta. Eulália’	Agrigénese	350 m ⁻²	150 kg ha ⁻¹
	‘Sta. Rita’	Agrigénese	350 m ⁻²	150 kg ha ⁻¹

Tabela 3. *Estratégias de adubação das empresas para cada espécie.*

Espécie	Empresa	Adubação à sementeira (05/12/2012)	Adubação de cobertura (*03/01/2013 e **07/02/2013)
Trigo	ADP	Amicote 10-24-0; 250 kg ha ⁻¹ 1	**Nergetic 30; 250 kg ha ⁻¹
	Cadubal		*Yara-Mila-Actyva 20-7-10; 500 kg ha ⁻¹
	Deiba	Entec 25-15-0; 250 kg ha ⁻¹	*Entec 26; 100 kg ha ⁻¹ a)
Triticale	ADP	Amicote 10-24-0; 250 kg ha ⁻¹ 1	**Nergetic 30; 217 kg ha ⁻¹
	Cadubal		*Yara-Mila-Actyva 20-7-10; 450 kg ha ⁻¹
	Deiba	Entec 25-15-0; 250 kg ha ⁻¹	*Entec 26; 150 kg ha ⁻¹
Aveia	ADP	Amicote 10-24-0; 208 kg ha ⁻¹ 1	**Nergetic 30; 200 kg ha ⁻¹
	Cadubal		*Yara-Mila-Actyva 20-7-10; 400 kg ha ⁻¹
	Deiba	Entec 25-15-0; 300 kg ha ⁻¹	

a) Adubação total do trigo com menos 10 kg N ha⁻¹ do que nas outras empresas/estratégias.

As condições climáticas do ano agrícola foram atípicas, nomeadamente, no que respeita à precipitação. O elevado volume de precipitação que se registou no mês de Novembro de 2012 (146,7 mm) (Figura 2), contribuiu para um atraso na sementeira dos cereais, em relação ao que é habitual na região. A continuidade da precipitação durante os meses seguintes (Dezembro com 36 mm, Janeiro com 42,9 mm, Fevereiro com 36,0 mm e Março com 137,1 mm), conduziu a fenómenos de encharcamento, perda de plantas, fraco afilhamento, reduzido desenvolvimento radicular e proliferação de infestantes. Além disso, promoveu a lixiviação de nutrientes, particularmente do azoto, e impediu a entrada atempada das máquinas para aplicar os diferentes factores de produção.

Nos meses de Abril e Maio, registou-se um decréscimo abrupto dos valores da precipitação ao que se associou um grande aumento da temperatura, factos que se

traduziram numa aceleração do desenvolvimento das plantas e a ocorrência de fenómenos de stress hídrico, agravados pelo fraco volume radicular, decorrente do Inverno chuvoso, e a consequente exploração de uma reduzida espessura de solo.

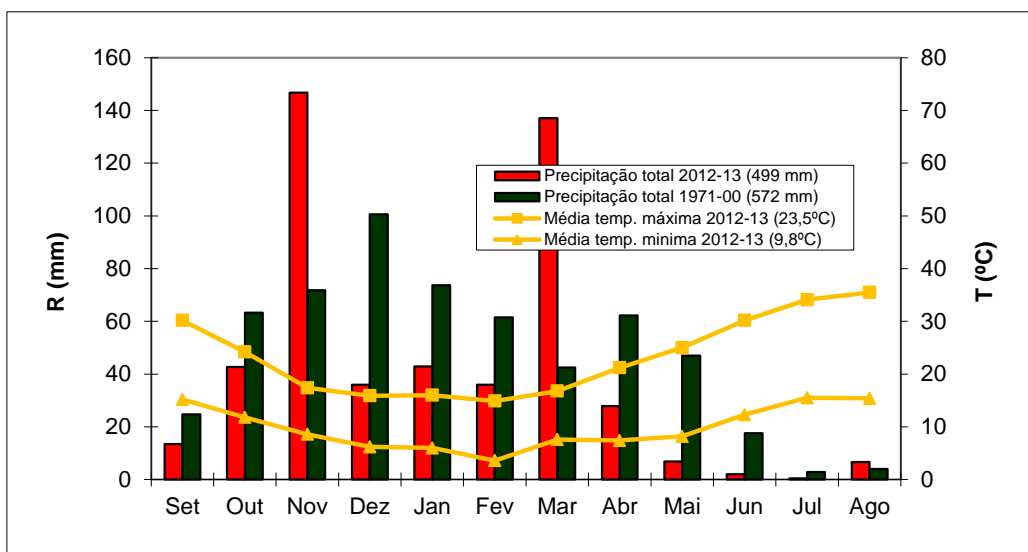


Figura 2. Precipitação total do período 1971-2000 e precipitação total, média das temperaturas máximas e média das temperaturas mínimas do ano 2012/2013 em Castro Verde (COTR, 2013).

O tratamento dos dados, realizou-se separadamente para cada espécie, considerando os dois factores de estudo: variedade e estratégia de fertilização. Recolheram-se elementos em quatro repetições de cada tratamento, sendo que para a produção de grão (kg ha^{-1}) a área de amostragem foi de 10 m^2 por tratamento e repetição.

Resultados e Discussão

Os resultados que se apresentam dizem respeito apenas à produção de grão (kg ha^{-1}) e foram, obviamente, influenciados pela forma como decorreu o ano agrícola, particularmente no que concerne à irregularidade da distribuição da precipitação ao longo do ciclo cultural.

Nas três espécies em estudo (trigo, tritcale e aveia) obtiveram-se valores de produção de grão diversos (Figura 3). A aveia foi a que mostrou a produção de grão mais baixa (1686 kg ha^{-1}), com valores idênticos para cada uma das variedades estudadas ('Sta. Eulália' e 'Sta. Rita'). No trigo e no tritcale a produção de grão foi semelhante, respectivamente 2212 e 2280 kg ha^{-1} . Todavia, nestas espécies, verificou-se vantagem de uma das variedades em estudo. Para o trigo a variedade 'Ingenio' com 2428 kg ha^{-1} e para o tritcale a variedade 'Trimour' com 2617 kg ha^{-1} foram as que atingiram as produtividades mais elevadas. Estes resultados parecem indicar uma melhor adaptação às condições edafoclimáticas em que decorreu o estudo do trigo e do tritcale, em particular, das variedades atrás referidas.

A análise do efeito da estratégia de fertilização por espécie, mostra que apenas para o tritcale se verificou efeito significativo, com desvantagem para a estratégia da ADP Fertilizantes (Figura 4). Todavia, importa salientar que as parcelas com esta estratégia de fertilização foram alvo de uma elevada infestação de gramíneas, facto que poderá ter prejudicado a sua produtividade.

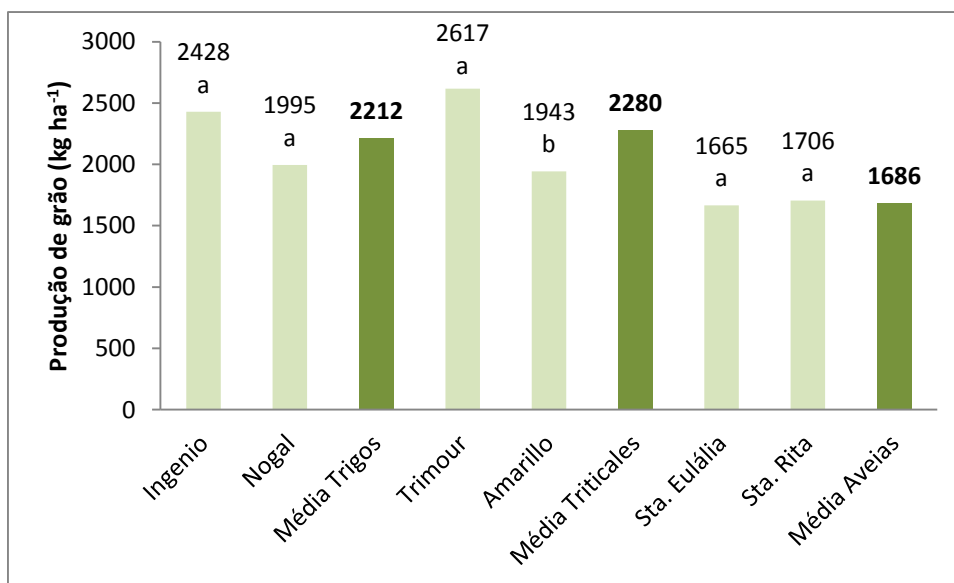


Figura 3. Produção de grão (kg ha⁻¹) por variedade e média das variedades por espécie. Letras minúsculas diferentes indicam, para cada espécie, médias distintas para $p \leq 0,05$.

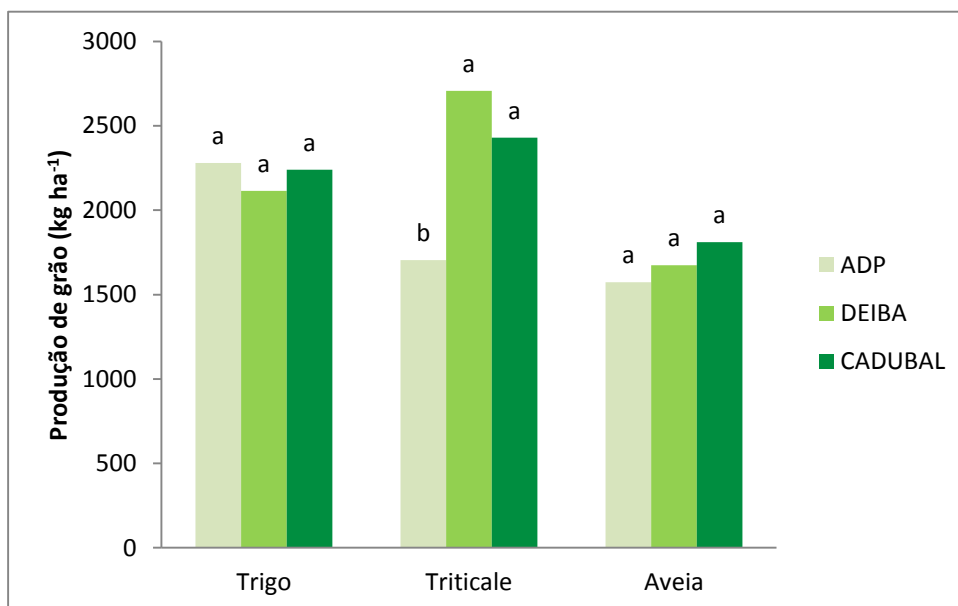


Figura 4. Produção de grão (kg ha⁻¹) por estratégia de fertilização para cada espécie. Letras minúsculas diferentes indicam, para cada espécie, médias distintas para $p \leq 0,05$.

Nas Figuras 5, 6 e 7 podemos observar o comportamento de cada variedade de trigo, triticale e aveia em função da estratégia de fertilização. Esta interação não se revelou significativa, pelo que a produtividade de cada variedade não foi influenciada pela estratégia de fertilização. No entanto, importa salientar alguns valores que nos parecem relevantes. Para os trigos (Figura 5), obteve-se produção de grão mais elevada com a variedade 'Ingenio' (em média mais 433 kg ha⁻¹), principalmente com a adubação ADP. Saliente-se que na fertilização Deiba não se realizou uma aplicação com 100 kg ha⁻¹ de Entec 26%.

Nos triticales (Figura 6), a variedade 'Trimour' registou produtividades mais elevadas (em média mais 674 kg ha⁻¹), parecendo existir uma melhor resposta à fertilização da

Deiba. Recorde-se, tal como foi atrás referido, que as parcelas com adubação ADP foram prejudicadas por uma elevada infestação de gramíneas.

No que respeita às aveias (Figura 7), as produtividades médias são semelhantes nas duas variedades em estudo, embora seja de registar a produtividade mais elevada na variedade 'Sta. Rita' com adubação Cadubal (2000 kg ha⁻¹).

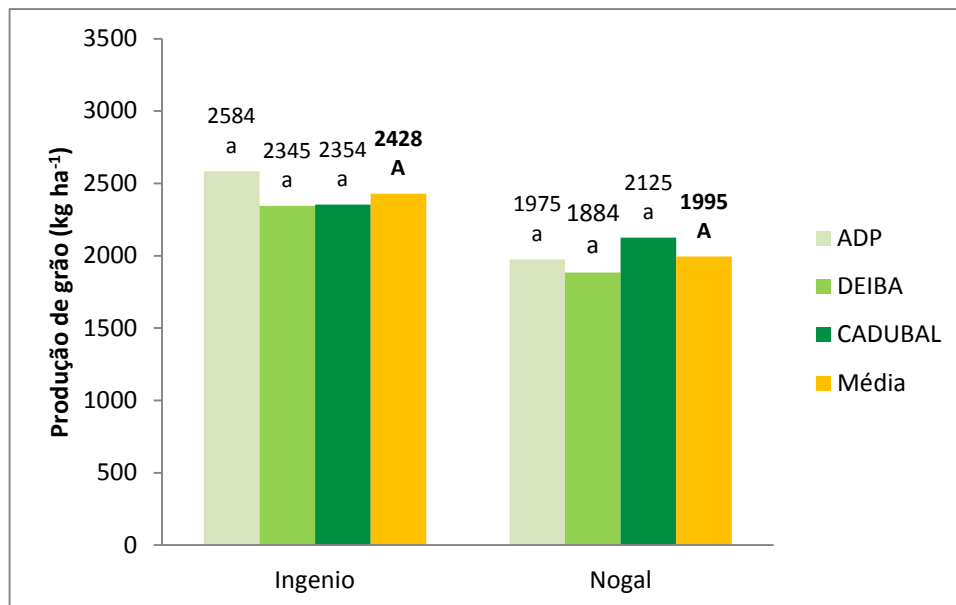


Figura 5. Produção de grão (kg ha⁻¹) do trigo por variedade e por estratégia de fertilização e respectivas médias. Letras minúsculas diferentes indicam, para cada variedade×estratégia de fertilização, médias distintas para $p \leq 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam, para a espécie/variedade, médias distintas para $p \leq 0,05$.

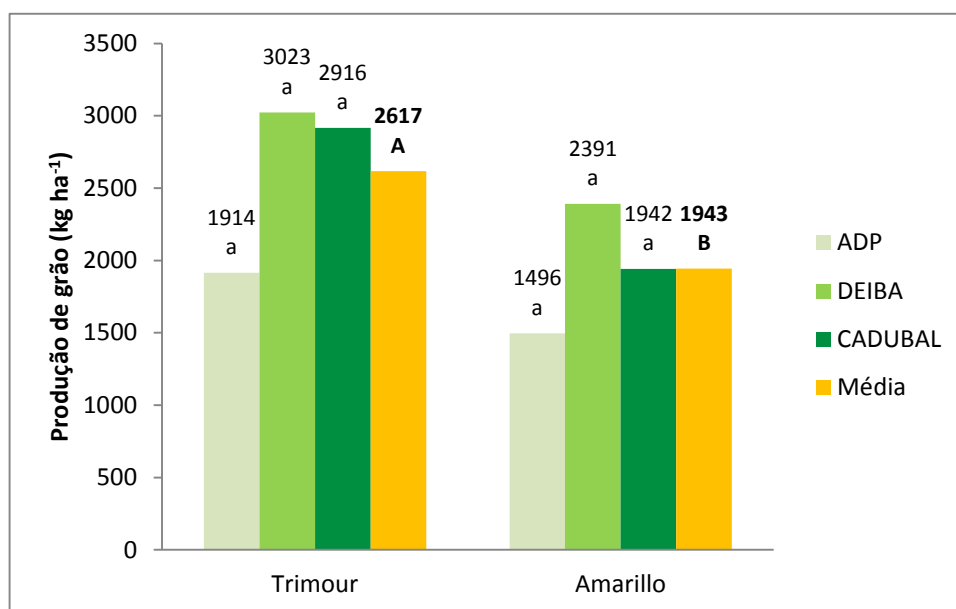


Figura 6. Produção de grão (kg ha⁻¹) do tritcale por variedade e por estratégia de fertilização e respectivas médias. Letras minúsculas diferentes indicam, para cada variedade×estratégia de fertilização, médias distintas para $p \leq 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam, para a espécie/variedade, médias distintas para $p \leq 0,05$.

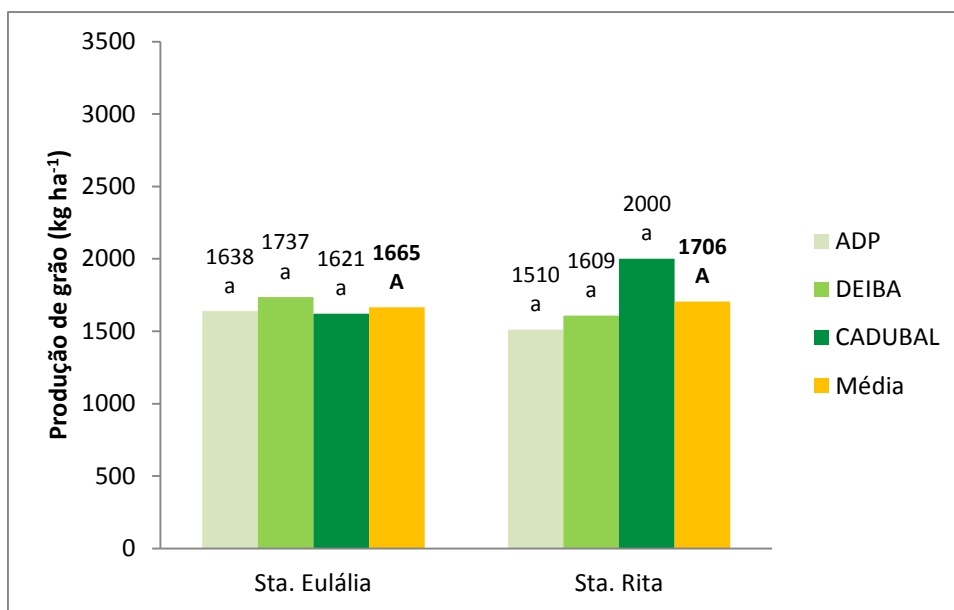


Figura 7. Produção de grão (kg ha^{-1}) da aveia por variedade e por estratégia de fertilização e respectivas médias. Letras minúsculas diferentes indicam, para cada variedade \times estratégia de fertilização, médias distintas para $p \leq 0,05$. Letras maiúsculas diferentes indicam, para a espécie/variedade, médias distintas para $p \leq 0,05$.

Conclusões

Nas condições particulares em que decorreram os ensaios de campo, podemos concluir que nas espécies em estudo (trigo, tritcale e aveia) apenas para o tritcale se verificou efeito significativo da variedade e da estratégia de fertilização, embora neste caso o efeito possa ter sido condicionado pelo maior número de infestantes que se verificou nalgumas parcelas. Assim, a variedade 'Trimour' registou valores mais elevados de produção de grão em relação à variedade 'Amarillo', e as estratégias de fertilização Deiba e Cadubal apresentaram resultados mais interessantes que a estratégia da ADP Fertilizantes.

Na análise global a todas as espécies, registou-se menor produção de grão para a aveia e valores idênticos para o trigo e para o tritcale, o que indica uma boa adaptação agronómica destas espécies.

Tendo em conta as características peculiares do clima mediterrânico, nomeadamente a variação interanual da precipitação, importa salientar que os resultados se referem a apenas um ano de estudo, pelo que as conclusões terão, necessariamente, um carácter preliminar.

Bibliografia

- Cardoso, M. 2011. Estrutura Local de Apoio da Intervenção Territorial Integrada de Castro Verde: Edital n.º 8 – Normativos. Estrutura Local de Apoio da Intervenção Territorial Integrada de Castro Verde – PRODER.
- COTR, 2014. Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA). Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR), Quinta da Saúde, Beja, em: <http://www.cotr.pt/cotr/sagra.asp>
- CMCV, 2014. Zona de Protecção Especial de Castro Verde: condicionantes e mapas. Câmara Municipal de Castro Verde (CMCV), em: <http://www.cm-castroverde.pt/pt/769/condicionantes-e-mapas---zpe-de-castro-verde.aspx>
- ICNF, 2014. Rede Natura 2000 no continente português: informação sobre cada uma das Zonas de Protecção Especial - ZPE; em documentos relacionados apresenta-se o mapa, as notas explicativas e o glossário. Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000/rn-pt/rn-contin/zpe-pt>
- Sequeira, E. 2011. Agricultura e Conservação da Biodiversidade. Liga para a Protecção da Natureza (LPN). Castro Verde, 8 de Julho de 2011, em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/pancd/resource/ficheiros/seef/2012fev29/projetos/120229-biodiversidade-castro-verde-eugeniosequeira>
- SROA, 1962. Carta de Solos de Portugal n.º 46A. Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, Secretaria de Estado da Agricultura, Ministério da Economia, Lisboa.

P10 - Efeito do sistema cultural na qualidade do azeite na região do Baixo Alentejo - Portugal

Costa, N.¹; Patanita, M.¹; Canada, J.² & Patanita. I.¹

¹Instituto Politécnico de Beja, Departamento de Biociências, Rua Pedro Soares, Campus do IPBeja, 7800-295 Beja, Portugal natividade@ipbeja.pt ; mpatanita@ipbeja.pt ; ipatanita@ipbeja.pt; ²Instituto Politécnico de Beja, Departamento de Tecnologias e Ciências Aplicadas, Rua Pedro Soares, Campus do IPBeja, 7800-295 Beja, Portugal joao.canada@sapo.pt

Resumo

A introdução do regadio no olival originou o ajustamento de vários itinerários técnicos, com particular destaque para a cultivar, a densidade de plantação, a fertilização e a protecção da cultura. Como tal, importa averiguar o efeito da alteração dos sistemas culturais na qualidade do azeite produzido. Analisaram-se amostras de azeitonas colhidas em olivais sujeitos a diferentes sistemas culturais, nomeadamente, superintensivo em regadio (cv. 'Arbequina'), intensivo em regadio (cv. 'Cobrançosa') e tradicional biológico em sequeiro (cv. 'Galega'), localizados respectivamente, nos concelhos de Serpa, Moura e Beja. Os resultados obtidos indicaram que os azeites dos olivais em estudo se inserem na categoria de "Azeite virgem extra". Os teores de polifenóis totais, clorofila e carotenóides foram influenciados pela cultivar e pelo índice de maturação da azeitona. O azeite proveniente da cv. 'Arbequina' apresentou valores de acidez, índice de peróxidos e absorvâncias inferiores aos dos azeites extraídos de frutos das cultivares 'Galega' e 'Cobrançosa'. Por outro lado, o azeite proveniente da cv. 'Cobrançosa' apresentou os teores mais elevados em polifenóis totais, clorofila e carotenóides.

Palavras-chave: azeite virgem, cultivares, *Olea europaea* L., qualidade.

Effect of olive grove management system in olive oil quality in Baixo Alentejo - Portugal

Abstract

The introduction of irrigation in olive grove led to the adjustment of several technical options, with particular emphasis on the choice of cultivar, planting density, fertilization and crop protection. It is therefore important to ascertain the effect of this management changes on the quality of the olive oil produced. Fruit samples were taken from different olive groves, including hedgerow irrigated system (cv. 'Arbequina'), intensive irrigated (cv. 'Cobrançosa') and traditional organic rainfed (cv. 'Galega'), located respectively in the municipalities of Serpa, Moura and Beja. The results indicated that the olive oil could be classified in the category of "extra virgin olive oil". The content of total polyphenols, chlorophyll and carotenoids were mainly influenced by the cultivar and by the olive maturation extent. The olive oil from the cv. 'Arbequina' showed acidity, peroxide and absorbance values lower than the olive oil extracted from the cultivars 'Galega' and 'Cobrançosa'. On the other hand, the olive oil from cv. 'Cobrançosa' showed the highest content in total polyphenols, chlorophyll and carotenoids.

Keywords: olive oil, olive tree cultivar, *Olea europaea* L., olive oil quality.

Introdução

O Alentejo é a principal região olivícola de Portugal e a que mais contribui para a produção nacional de azeite. Os sistemas culturais tradicionais do olival têm sofrido significativas alterações nos últimos anos, nos quais se tem assistido à plantação de novos olivais sujeitos a diferentes modos de cultura. Com efeito, a disponibilidade de água para rega, decorrente do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA), tem permitido a opção por formas de exploração do olival distintas dos sistemas tradicionais de sequeiro. Assim, a introdução do regadio originou, consequentemente, o

ajustamento de vários itinerários técnicos, com particular destaque para a escolha da cultivar, a densidade de plantação, a fertilização e a proteção da cultura. Importa por isso averiguar o efeito da alteração dos sistemas culturais na qualidade do azeite produzido.

O azeite é uma gordura sintetizada naturalmente na polpa das azeitonas como substância de reserva e extraído exclusivamente por processos mecânicos e físicos em condições que não produzem a sua alteração.

A qualidade do azeite está relacionada com a sua composição química, a sua estabilidade oxidativa e com as características sensoriais. Estes parâmetros são afetados pela cultivar, clima e solo (Tura *et al.*, 2008), índice de maturação (Salvador *et al.*, 2001; Beltran *et al.*, 2005), rega (Tovar *et al.*, 2001), práticas de proteção e produção integrada, fertilização, tratamentos fitossanitários (Dias, 2009), transporte e sistema de extração (Ranalli *et al.*, 2001).

No Regulamento (EU) 61/2011 são definidas as características físicas, químicas e organoléticas dos azeites virgens, prosseguindo a harmonização com as normas internacionais do Conselho Oleícola Internacional. Entre os critérios de qualidade do azeite virgem destacam-se a acidez, o mais reconhecido pelo consumidor e tem sido utilizado para a classificação de azeites em categorias comerciais. Este parâmetro resulta da presença de ácidos gordos livres no azeite derivados da hidrólise dos triacilgliceróis e é um critério de qualidade que condiciona a aptidão do azeite para consumo. O índice de peróxidos permite estimar o grau de oxidação inicial do azeite, dado que define-se pela quantidade de oxigénio ativo, expressa em miliequivalentes, contido em um quilograma de gordura ou óleo. As absorvâncias no ultravioleta (K_{232} , K_{270}) indicam o estado de conservação do azeite e as alterações secundárias devido ao processamento tecnológico. Outras avaliações importantes na qualidade do azeite mas que o enquadramento legal não contempla é o conteúdo em polifenóis totais e os pigmentos.

Os polifenóis totais são considerados os principais compostos com atividade antioxidantes no azeite (Beltrán *et al.*, 2005, Ribeiro, 2005). Devido à sua capacidade antioxidante, desempenham funções muito importantes para a estabilidade dos azeites. Para além desta função, os polifenóis são também importantes no que concerne as características organoléticas e nutricionais do azeite (Aparício e Harwood, 2003).

O conteúdo de pigmentos do azeite é importante como parâmetro de qualidade, porque eles se correlacionam com a cor e desempenham um papel fundamental como fator de aceitabilidade sensorial entre os consumidores. A cor única do azeite virgem é devida à presença de pigmentos, como a clorofila e os carotenoides, as tonalidades esverdeadas estão associadas a maiores teores em clorofila e as tonalidades alaranjadas aos carotenoides. Estes estão presentes nos azeites em quantidades variáveis e tendem a decrescer progressivamente ao longo da maturação (Salvador *et al.*, 2001).

Com este estudo pretendeu-se fazer a caracterização química de azeites extraídos de azeitonas provenientes de olivais sujeitos a diferentes sistemas culturais, nomeadamente, superintensivo em regadio (cv. 'Arbequina'), intensivo em regadio (cv. 'Cobrançosa') e tradicional biológico em sequeiro (cv. 'Galega') e analisar os azeites obtidos de azeitonas em dois estados de maturação das cultivares 'Arbequina' e 'Galega'.

Material e Métodos

O presente estudo reporta-se a azeites extraídos na campanha de 2010/2011 de frutos de *Olea europaea* L. de três olivais, nomeadamente, superintensivo em regadio (cv. 'Arbequina'), intensivo em regadio (cv. 'Cobrançosa') e tradicional biológico em sequeiro (cv. 'Galega'), cujas as principais características se indicam na Tabela 1. Para as cultivares 'Arbequina' e 'Galega' realizaram-se duas datas de colheita e para a cv. 'Cobrançosa' efectuou-se apenas uma. Para a extração do azeite foram retirados 30kg de azeitona em todo o olival.

Tabela 1. Caracterização dos olivais em estudo (cultivar compasso, modo de produção, data de plantação, rega, concelho, local, solos (família), cobertura do solo e tratamentos fitossanitários).

Características	Superintensivo	Intensivo	Tradicional biológico (adensado)
Cultivar	Arbequina	Cobrançosa	Galega
Compasso (m)	3.75x1.35	7.00x7.00	5.00x5.00
Modo de produção	Convencional	Produção integrada	Biológico de sequeiro
Data de plantação	2005	1998	1963
Rega	Sim	Sim	Não
Concelho	Serpa	Moura	Beja
Local	Maria da Guarda	Talabita	Quinta da Saúde
Solos (família)	Bvc + Bpc	Vc	Pm
Cobertura do solo	Aplicação de herbicidas para controlo de infestantes	Herbicida na linha e vegetação natural na entre-linha	Vegetação natural
Tratamentos fitossanitários	Dimetoato em outubro contra <i>Bactrocera oleae</i> Aplicação de cobre em março e setembro	Dimetoato em outubro contra <i>Bactrocera oleae</i> Aplicação de cobre em março e setembro	Aplicação de cobre em março e setembro

Nas amostras de azeitona observou-se o estado sanitário dos frutos, nomeadamente, os danos provocados pela mosca-da-zeitona (*Bactrocera olea*) e pela gafa (*Collectotrichum* sp.) e foi avaliado o índice de maturação, o teor de gordura e humidade usando as metodologias que a seguir se discriminam.

A determinação do índice de maturação foi efetuada, em amostras de 100 azeitonas, de acordo com a técnica da "Estación de Olivicultura e Elayotecnica de Jáen", as quais foram classificadas em oito classes de acordo com Hermoso, *et al.* (1999), como se pode observar na Tabela 2.

O índice de maturação é o somatório dos produtos do número de frutos de cada classe pelo valor numérico da sua categoria dividido por 100. Assim obtêm-se os valores entre 0 (todos os frutos de cor verde intensa) e 7 (todos os frutos com pele negra e a polpa rosada até ao caroço).

A percentagem de gordura e humidade foi determinada num equipamento Foss, FoodScan Olivescan, que utiliza um sistema com base na tecnologia NIR/NIT (Near Infrared Transmittância). As amostras de azeitona foram moídas em moinho de martelos, com crivo de 3 a 4mm, obtendo-se uma pasta de azeitona a partir da qual, depois de homogeneizada, foi determinada a percentagem de gordura e humidade.

A extração de azeite efetuou-se em sistema “Oliomio”. Os parâmetros físico-químicos analisados foram a acidez expressa em % de ácido oleico (Regulamento CEE nº 2568/91, anexo II), o índice de peróxidos expresso em meq de O₂ por kg de azeite (Regulamento CEE nº 2568/91, anexo III), as absorvâncias no ultra-violeta (K₂₃₂ e K₂₇₀) (Regulamento CEE nº 2568/91, anexo IX).

Tabela 2. Determinação do índice de maturação da azeitona a partir da sua cor, classe respetiva e valor correspondente (Hermoso et al., 1999).

Cor da azeitona	Classe	Valor
Verde intensa	a	0
Verde amarelada	b	1
Verde com manchas rosadas em menos de metade do fruto	c	2
Rosado ou roxo em mais de metade do fruto	d	3
Negra com polpa branca	e	4
Negra com polpa rosada sem chegar à metade da polpa	f	5
Negra com polpa rosada sem chegar ao caroço	g	6
Negra com polpa rosada até ao caroço	h	7

A quantificação de polifenóis totais (mg kg⁻¹ de azeite) efetuou-se por espectrofotometria a 725nm (Espectrofotómetro UV Hitachi, modelo U-2000), utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu.

Os pigmentos de clorofila (mg kg⁻¹ de azeite) e carotenoides (mg kg⁻¹ de azeite) foram determinados por espectrofotometria (Espectrofotómetro Hitachi, modelo UV-2000), respetivamente a 670nm e a 470nm usando o método descrito por Minguez-Mosquera *et al.*, (1991). Onde os valores da clorofila e dos carotenóides foram determinados, respetivamente, com bases nas equações (1) e (2).

$$\text{Clorofila (mg kg}^{-1} \text{ de azeite)} = (A_{670} \times 10^6) / (613 \times 100) \quad (1)$$

$$\text{Carotenoides (mg kg}^{-1} \text{ de azeite)} = (A_{470} \times 10^6) / (2000 \times 100) \quad (2)$$

Resultados e Discussão

O teor de humidade da pasta de azeitona, descrito na bibliografia como estreitamente relacionado com as condições edafoclimáticas (Hermoso *et al.*, 1999), foi mais elevado na modalidade ARB2 (65,08%). As azeitonas provenientes das modalidades da cv. ‘Arbequina’ ARB1 (43,28%) e ARB2 (46,33%) apresentaram um teor de gordura na matéria seca superior ao dos frutos oriundos das outras modalidades. No entanto, a azeitona da cv. ‘Galega’ (GAL1 e GAL2) apresenta uma maturação mais adiantada, verificando-se diferenças, entre as cultivares e de acordo com as características agronómicas específicas (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização das azeitonas das cultivares 'Arbequina' (ARB), 'Cobrançosa' (COB) e 'Galega' (GAL), na data de extracção do azeite.

Modalidades	Data de colheita	Frutos atacados pela mosca (%)	Frutos com gafa (%)	Humidade (%)	Teor de gordura (%)	Teor de gordura (m.s.) (%)	Índice de maturação
ARB1	09/12/2010	4	1	52.80	20.43	43.28	3.16
ARB2	24/01/2011	0	0	65.08	16.18	46.33	4.42
COB	12/11/2010	6	1	54.99	15.35	34.10	3.19
GAL1	10/11/2010	8	18	60.01	15.88	39.71	6.10
GAL2	24/01/2011	2	0	59.78	16.49	41.00	6.70

Na Tabela 4 e Figuras 1, 2, 3 e 4 são apresentados os valores médios dos parâmetros de qualidade de azeite, para os três olivais em estudo, na campanha de 2010/2011.

Tabela 4. Valores médios dos índices de qualidade do azeite, extraído de azeitonas dos olivais, superintensivo (cv. 'Arbequina'), intensivo (cv. 'Cobrançosa') e tradicional biológico (cv. 'Galega') e valores de referência para "Azeites virgem extra".

Parâmetro		Valor de Referência	Arbequina	Cobrançosa	Galega
Acidez (% ácido oleico)		≤ 0.8	0.12 ± 0.004	0.24 ± 0.002	0.25 ± 0.001
Índice de peróxidos (meq O ₂ kg ⁻¹)		≤ 20	6.0 ± 0.035	8.2 ± 0.036	5.9 ± 0.042
Análise espectrofotométrica	K ₂₃₂	≤ 2.50	1.643 ± 0.000	2.124 ± 0.001	1.748 ± 0.000
	K ₂₇₀	≤ 0.22	0.094 ± 0.001	0.191 ± 0.001	0.112 ± 0.001
Polifenóis totais (mg kg ⁻¹)			163.1 ± 0.354	376.1 ± 0.402	108.2 ± 0.365
Clorofila (mg kg ⁻¹)			4.91 ± 0.000	8.26 ± 0.003	2.98 ± 0.002
Carotenoides (mg kg ⁻¹)			2.20 ± 0.001	3.14 ± 0.002	1.93 ± 0.001

A análise dos critérios de qualidade, acidez, índice de peróxidos e absorvâncias no ultra-violeta (K₂₃₂ e K₂₇₀), conduz à classificação dos azeites em "Azeite virgem extra" (Regulamento EU N° 61/2011), revelando a obtenção de produtos de elevada qualidade provenientes de matéria-prima dos três olivais (Tabela 4 e Figura 1 e 2).

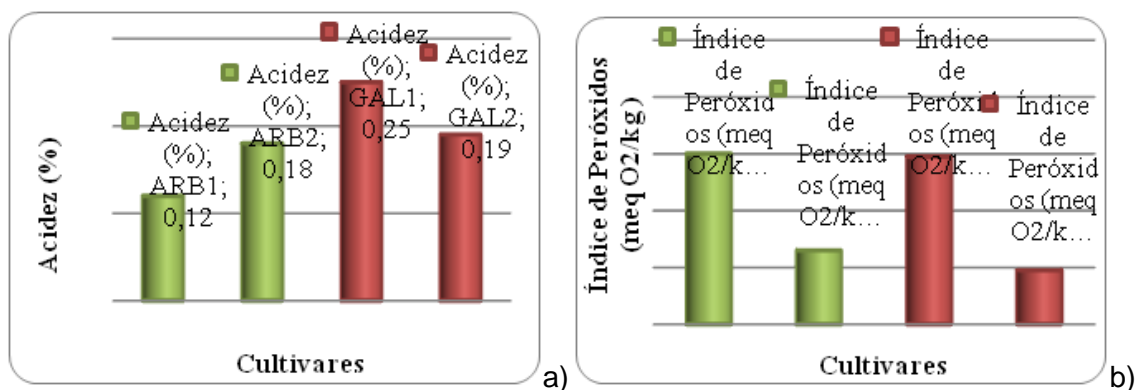


Figura 21. Critérios de qualidade: acidez a), índice de peróxidos b), em azeites obtidos de azeitonas em dois índices de maturação das cv.s 'Arbequina' e 'Galega'.

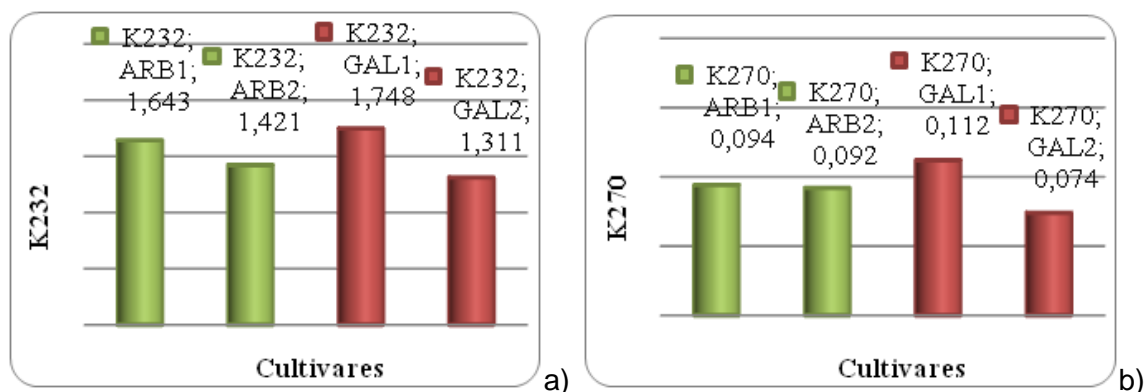


Figura 22. Critérios de qualidade: absorvâncias K₂₃₂ a) e K₂₇₀ b), em azeites obtidos de azeitonas em dois índices de maturação das cv.s 'Arbequina' e 'Galega'.

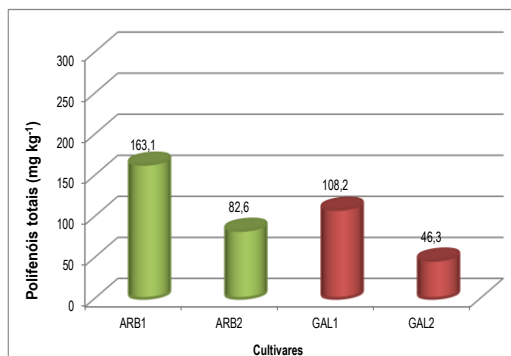


Figura 3. Teor em polifenóis totais, em azeites obtidos de azeitonas em dois índices de maturação das cv.s 'Arbequina' e 'Galega'.

A acidez foi inferior a 0,3, destacando-se o azeite proveniente do olival superintensivo cv. 'Arbequina' com menor acidez (0,12%) (Tabela 4), associado ao melhor estado sanitário dos frutos deste olival. De acordo com a figura 1 verifica-se que a maturação provocou um aumento de acidez na cv. 'Arbequina' e uma diminuição na cv. 'Galega'. A sobre maturação das azeitonas pode levar a azeites com uma percentagem de acidez mais elevada (Guillén e López-Villata, 1992) mas, estudos realizados por Gutiérrez *et al.*, (1999) verificaram que a acidez diminui com o avanço da maturação e refere que embora seja geralmente admitido que, durante a maturação, há um aumento da atividade enzimática, especialmente uma ativação progressiva de enzimas lipolíticas que origina azeites com maior acidez à medida que prossegue a maturação, isso nem sempre acontece. Desde que as azeitonas estejam frescas e sãs, os azeites obtidos

têm baixa acidez, não dependendo esta de fatores como a cultivar ou a região (Gouveia, 1995; Rodrigues, 2006), não sendo por isso um parâmetro que possa ser usado para diferenciar azeites de diferentes cultivares, mas sim um parâmetro que contribui para a definição da qualidade (Gouveia, 1995).

O índice de peróxidos e absorvâncias no ultra violeta, indicadores do estado de oxidação do azeite, apresentam valores médios muito inferiores aos limites estabelecidos para “Azeite virgem extra”, tendo o azeite do olival intensivo cv. ‘Cobrançosa’ registado os valores mais elevados indicando um estado de oxidação ligeiramente mais avançado (Tabela 4). As cultivares ‘Arbequina’ e ‘Galega’, apresentam comportamentos semelhantes entre si com o aumento do índice de maturação apresentando, uma clara tendência decrescente como foi relatado por Gutiérrez *et al.*, (1999), no entanto, esta tendência decrescente não é regra (Rotondi *et al.*, 2004).

Os resultados de polifenóis totais obtidos revelam diferenças entre os azeites das diferentes cultivares. Verificando-se que o azeite que apresentou o teor mais elevado em polifenóis totais foi o proveniente da cv. ‘Cobrançosa’ (376.1 mg kg^{-1}), no entanto, o azeite da cv. ‘Galega’ apresentou o valor mais baixo (108.2 mg kg^{-1}) e o da ‘Arbequina’ (163.1 mg kg^{-1}) (Tabela 4). O teor em polifenóis totais no azeite evidencia uma forte dependência da cultivar, o que está de acordo com estudos realizados por Romero *et al.* (2004), Pardo *et al.* (2007) e Costa (2012).

Nas cultivares ‘Arbequina’ e ‘Galega’ o teor em polifenóis totais diminuíram com o avanço do índice de maturação (Figura 3). Este comportamento está de acordo com os estudos realizados por Caponio e Gomes (2001), Beltrán *et al.* (2005) e Costa (2012) quando referem que o conteúdo em polifenóis totais pode ser influenciado pelo estado de maturação do fruto. Esta situação é particularmente relevante porque os polifenóis totais conferem ao azeite maior estabilidade à auto-oxidação (Tovar *et al.*, 2001; Gómez-Alonso *et al.*, 2007).

Esta diminuição do teor de polifenóis totais com o avanço da maturação pode ser devido a uma série de reações químicas e enzimáticas, que ocorrem durante a maturação do fruto e causam a degradação da oleuropeína, originando fenóis livres. Estes são retidos em quantidades muito pequenas no azeite (Boskou, 1998).

À semelhança do que se verificou com o teor de polifenóis totais, o teor em clorofila e carotenoides no azeite evidenciam uma forte dependência da cultivar verificando-se que o azeite que apresenta os valores mais elevados foi o proveniente da cv. ‘Cobrançosa’ respetivamente 8.26 mg kg^{-1} e 3.14 mg kg^{-1} (Tabela 4).

Estes parâmetros foram afetados pelo estado de maturação da azeitona nas cvs ‘Arbequina’ e ‘Galega’ verificando-se a diminuição dos seus valores com o avanço do índice de maturação (Figura 4).

O conteúdo em clorofila e carotenoides são fortemente afetados pelo estado de maturação, que sempre conduz a uma diminuição com o seu avanço, como referido por vários autores (Gutiérrez *et al.*, 1999; Conceição *et al.*, 2003; Beltrán *et al.*, 2005) pela cultivar, pelas condições edafo-climáticas e pelo processamento da azeitona (Psomiadou e Tsimidou, 2001; Giufrida *et al.*, 2007).

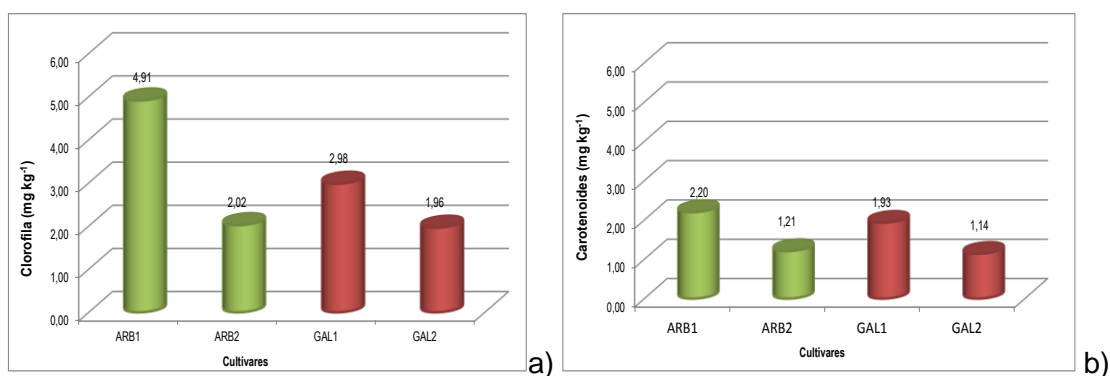


Figura 4. Teor em clorofila a) e carotenoides b) em azeites obtidos de azeitonas em dois índices de maturação das cv.s 'Arbequina' e 'Galega'.

Conclusões

Os critérios de qualidade, acidez, índice de peróxidos e absorvâncias no ultra violeta revelaram uma elevada qualidade dos azeites obtidos de azeitonas dos três olivais em estudo. O modo de produção, a maturação e a cultivar não exercem influência sobre os parâmetros regulamentados para atribuição da categoria de “Azeites virgem extra”. A qualidade do azeite está, intimamente, relacionada com a matéria-prima da qual procede o azeite, as azeitonas. Em geral, se a azeitona for de boa qualidade, o azeite também o será.

Os teores de polifenóis totais, clorofila e carotenoides foram distintos de acordo com as cultivares estudadas e dentro destas com o estado de maturação da azeitona, verificando-se uma diminuição com o avanço da maturação do fruto. Deve-se extrair azeite de azeitonas com índices de maturação mais baixos, uma vez que os polifenóis totais conferem ao azeite maior estabilidade à auto-oxidação.

Bibliografia

- Aparício, R., Hardwood, J. 2003. Manual del aceite de oliva. Mundi Prensa. Madrid.
- Beltrán, G., Aguilera, M. P., Del Rio, C., Sanchez, S., Martinez, L. (2005). Influence of fruit ripening process on the natural antioxidant content of Hojiblanca virgin olive oils. Food Chemistry 89, 207-215
- Boskou, D. 1998. Química y Tecnología del Aceite de Oliva. AMV Ediciones, Madrid.
- Caponio, F., Gomes, T. 2001. Influence of olive crushing temperature on phenols in olive oils. European Food Research Technology 212, 156-159.
- Gómez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Salvador, M.S. e Fregapane, G. 2007. Evolution of major and minor components and oxidation indices of virgin olive oil during 21 months storage at room temperature. Food Chemistry 100: 36-42.
- Conceição, A. C., Gouveia, C., Vitorino, M. C., Henrique, L. R., Peres, M. F. 2003. Azeite 'Galega Vulgar': evolução sensorial durante a maturação na campanha 2000/01. Actas Portuguesas de Horticulura 13, 221-226.
- Costa, M.N.L.B.T. 2012. Caracterização de azeites provenientes de azeitonas com diferentes estados de maturação. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Alimentar. Escola Superior Agrária de Beja. Instituto Politécnico de Beja. Beja. 125 pp.
- Dias, S.M.C. 2009. Pasta de azeite versus azeite virgem extra. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Alimentar. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 74 pp.

- Giufrida, D., Salva, F., Salva, A., La Pera, L., Dugo, G. 2007. Pigments in monovarietal Virgin olive oils from various Sicilian Olive varieties. *Food Chemistry* 101, 833-837.
- Gouveia, J.M.N.B. 1995. Azeites virgens do Alto Alentejo – Comportamentos químico, tecnológico e sensorial. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 570 pp.
- Guillén, J., López-Villalta, M. 1992. Producción de aceite de oliva de calidad. Influencia del cultivo. Junta de Andalucía – Consejería de Agricultura Y Pesca. Sevilla.
- Gutiérrez, F., Jiménez, B., Ruíz, A., Albi, M. A. 1999. Effect of olive ripeness on the oxidative stability of virgin olive oil extracted from the varieties Picual and Hojiblanca and on the different components involved. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 121-127.
- Hermoso, M., Uceda, M., Frias, L., Beltran, G. 1999. Maduración. In: *El Cultivo del Olivo*. 3ª Edición. Barranco, D., Fernández-Escobar, R. e Rallo, L. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 151-167.
- Minguez-Mosquera, M.I., Rejano-Navarro, L., Gandul-Rojas, B., Sánchez-Gómez, A. H., Garrido-Fernandez, J. 1991. Color-pigment correlation in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 68, 322-337.
- Pardo, J. E., Cuesta, M. A., Alvarruiz, A. 2007. Evaluation of potential and real quality of virgin olive oil from the designation of origin "Aceite Campo de Montiel" (Ciudad Real, Spain). *Food Chemistry* 100, 977-984.
- Psomiadou, E., Tsimidou, M. 2001. Pigments in Greek virgin olive oils: occurrence and levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 640-647.
- Ranalli, A., Cabras, P., Iannucciand, E., Content, S. 2001. Lipochroms, vitaminas, aromas and other compounds technology. *Food Chemistry* 73, 445-451.
- Regulamento (UE) N.º 61/2011 de 24 de Janeiro de 2011. *Jornal Oficial da União Europeia* nº L 23. Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas.
- Regulamento (CEE) N.º 2568/1991 de 11 de Julho de 1991. *Jornal Oficial* nº L 248. Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas.
- Ribeiro, L. 2005. Caracterização química do aroma de azeites virgens com atributos positivos e negativos. Tese de Doutoramento em Química, especialidade em Química Orgânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Caparica. 289 pp.
- Rodrigues, M. 2006. Azeite de Trás-os-Montes – Influência da localização do olival e das cultivares nas características dos azeites. Tese de mestrado em Agricultura, Ambiente e Mercados. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 171 pp.
- Romero, C., Brenes, M., Yousfi, K., Garcia, P., Garcia, A., Garrido, A. 2004. Effect of cultivar and processing method on the contents of polyphenols in table olives. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52, 479-484.
- Rotondi, A., Bendini, A., Cerretani, L., Mari, M., Lercker, G., Toschi, T. G. 2004. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of cv. Nostrana di Brisighella extra virgin olive oil. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 52, 3649-3654.
- Salvador, M. D., Aranda, F., Fregapane, G. 2001. Influence of fruit ripening on "Corincabra" Virgin olive oil quality. A study of four successive crop seasons. *Food Chemistry* 73, 45-53.
- Tovar, M. J., Motilva, M. J., Romero, M. P. 2001. Changes in the phenolic composition of virgin olive oil from young trees (*Olea europaea* L. cv. 'Arbequina') grown under linear irrigation strategies. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49, 5502-5508.
- Tura, D., Failla, O., Bassi, D., Pedò, S., Serraiocco, A. 2008 Cultivar influence on virgin olive (*Olea europaea* L.) oil flavor based on aromatic compounds and sensorial profile. *Scientia Horticulturae* 118, 139-148.

P11 - Detección de cubiertas agroindustriales eficientes energéticamente con tecnología lidar.

Santamaría Peña, J.¹; Sanz Adán, F.²; Valbuena Rabadán, M.A.³

¹ Universidad de La Rioja, C/ Luis de Ulloa, 20 26004-Logroño, jacinto.santmaria@unirioja.es. ² felix.sanz@unirioja.es. ³ IES Murguía, C/ Domingo de Sautu, s/n 01130-Murgia (Alava), mavalbuena66@gmail.com

Resumen

En el ámbito agrario existen dispersas multitud de construcciones agroindustriales cuyas cubiertas pueden ser aprovechadas para la reducción de su factura energética. La posición, orientación e inclinación de los faldones que componen las cubiertas es muy diversa e influye decisivamente en sus posibilidades como planos de captación de energía solar. La detección automática de dichos faldones en amplias superficies agrarias y su clasificación en función de parámetros básicos como son su orientación e inclinación, es posible realizarla utilizando datos procedentes de vuelos LIDAR aerotransportado. En este artículo, se pretende demostrar la utilidad del vuelo LIDAR PNOA de 0,5 puntos/m² clasificado, con cobertura sobre todo el territorio nacional, para la obtención automática de planos de cubierta de naves agroindustriales de grandes zonas agrarias (comarca) y el establecimiento de políticas de apoyo a la eficiencia energética en el sector agrario

Palabras clave: LIDAR Agroindustrial, Eficiencia Energética, PNOA.

Detection of agro-industrial roofs with energy efficiency using lidar technology

Abstract

In the agricultural sector there are many scattered agro-buildings whose roofs can be exploited to reduce their energy bills. The position, orientation and tilt of the roof sheets that make the covers is very diverse and strongly influences its potential as planes of solar energy. Automatic detection of said roofs in large agricultural areas and their classification according to basic parameters such as orientation and inclination, it is possible to do using data from airborne LIDAR flights. This article aims to demonstrate the usefulness of classified LIDAR - PNOA flight (0.5 points/m²), with coverage over the entire national territory, for automatic obtaining roof sheets of large agricultural areas (district) and establishing policies to support energy efficiency in the agricultural sector.

Keywords: Agro-Industrial LIDAR; Energy efficiency; PNOA

Justificación

En el entorno rural, existen gran cantidad de construcciones, más o menos aisladas, cuyas cubiertas pueden ser utilizadas para la captación de energía solar, a través de la instalación de paneles fotovoltaicos (*Brito M.C. et al.,2012*). La detección e individualización de dichas cubiertas puede hacerse de una forma primitiva, localizando y digitalizando sobre ortofotografía las construcciones. Pero este procedimiento, además de ser engorroso y lento, se complica cuando se pretende estudiar grandes superficies de terreno, como por ejemplo una comarca agraria. Y además, no obtenemos más información de las cubiertas que su simple ubicación geográfica y su superficie.

El programa PNOA (*Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*), coordinado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), tiene como objetivo la obtención de productos fotogramétricos comunes para todo el territorio

nacional. El desarrollo de la tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*), ha permitido la obtención masiva de datos del terreno desde aviones (*Chun-Ming H. et al., 2013*). Y entre ellos, los datos LIDAR están ahora disponibles para la práctica totalidad de España, a resoluciones de unos 0,5 puntos/m².

En esta comunicación se pretende demostrar la posibilidad de uso de dichos datos LIDAR para la detección, individualización y extracción de propiedades de los faldones de construcciones agrarias en un entorno amplio de superficie.

Material y Métodos

Se va a analizar un entorno agrario de 64 Km², en la comarca de Santo Domingo de la Calzada (La Rioja), en la cual se diferencia claramente el espacio urbano, ocupado por construcciones básicamente residenciales de diferentes alturas y formas, del entorno rural, caracterizado por construcciones aisladas no excesivamente elevadas y de planta típicamente rectangular.

Para dicho entorno, existen 16 Hojas LIDAR del PNOA, de 2Km x 2Km cada una, cuyos puntos se hallan clasificados fundamentalmente en terreno, vegetación, edificios y agua.

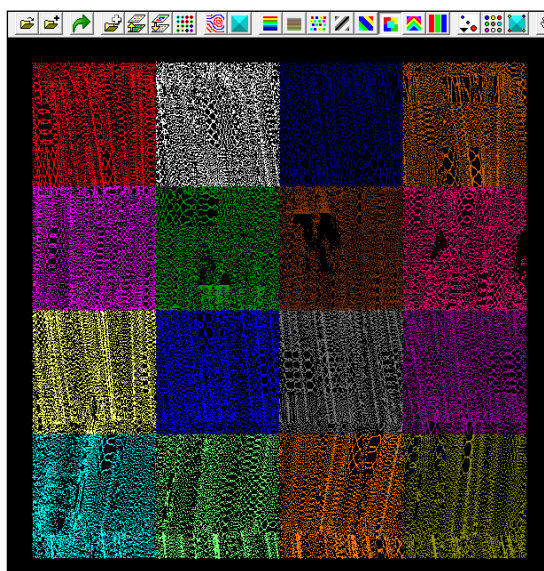


Figura 1. 16 hojas datos LIDAR Plan PNOA

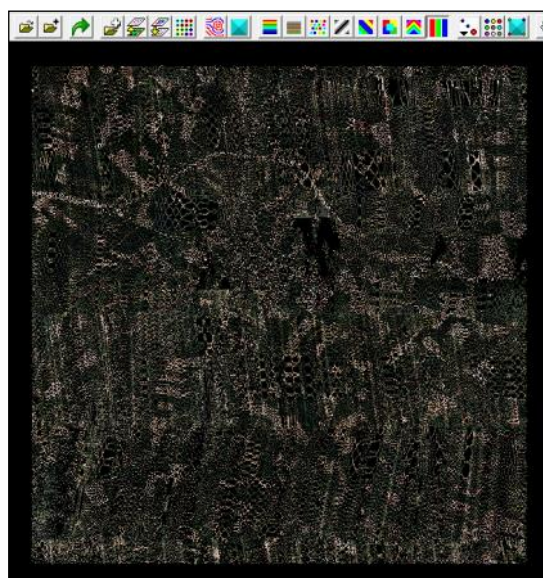


Figura 2. Zona agraria estudiada (6.400 has.)

Cada hoja se compone de unos 3,5 millones de puntos georreferenciados con coordenadas x,y,z., por lo que el área total a estudiar, cuenta con unos 56 millones de puntos.

Los programas informáticos utilizados en este trabajo han sido:

- Para la gestión y análisis de datos LIDAR: FugroViewer™ y LAsTools.
- Para la manipulación de modelos digitales del terreno: AutoCAD Civil3D®.

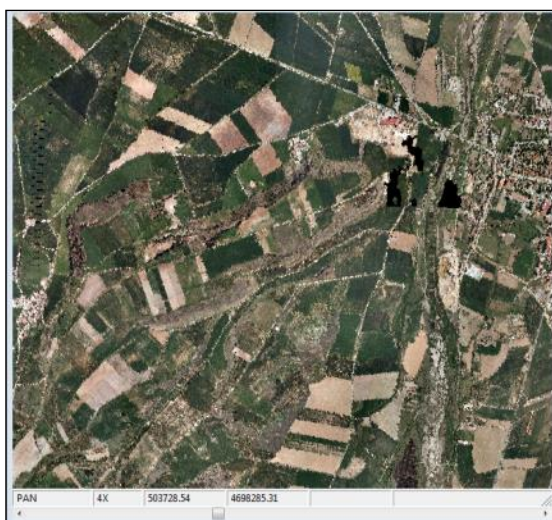


Figura 3. Detalle del entorno rural analizado (LIDAR).

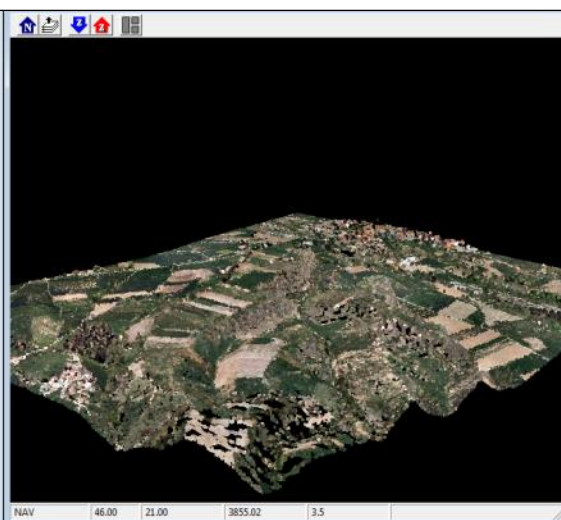


Figura 4. Modelizado datos LIDAR.

En un primer paso, se van a filtrar los puntos LIDAR por su clasificación, quedándonos con puntos que corresponden a edificios. Y dichos puntos seleccionados los exportaremos a formato ASCII para posteriormente ser gestionados por un programa de modelización de terrenos. Esto nos permite reducir el número de puntos de la zona a estudiar a unos 250.000 puntos.

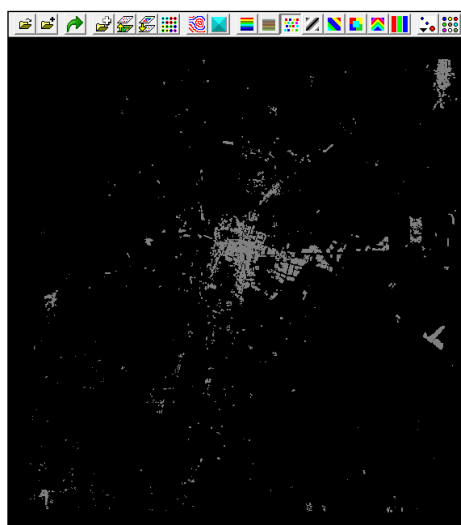


Figura 5. Puntos LIDAR sobre cubiertas.

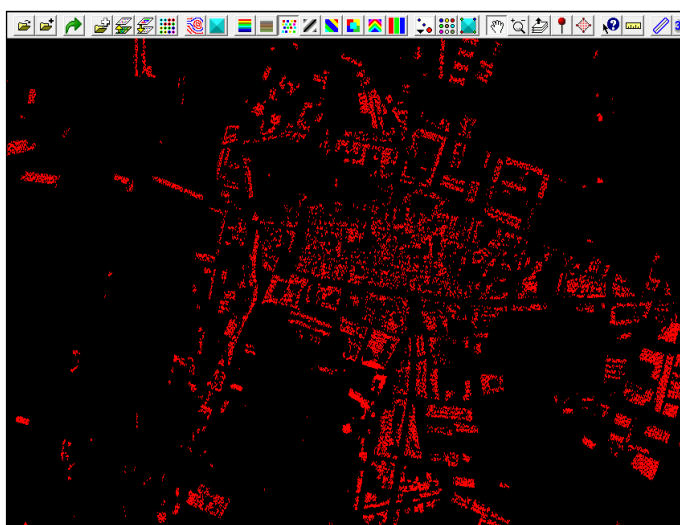


Figura 6. Puntos LIDAR sobre cubiertas en entorno urbano

Con AUTOCAD Civil3D®, se generó la superficie que contiene dichos puntos y se procedió a su triangulación. Esta triangulación debe realizarse limitando hasta cierto límite el lado de los triángulos, para evitar que se consideren zonas de cubierta de edificaciones que no los son.

Si no se limitan las longitudes de los triángulos, el programa triangula buscando una cobertura total de la zona, lo que provoca un modelado continuo e irreal.

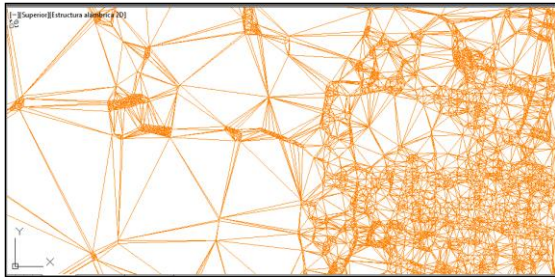


Figura 7. Modelo digital sin limitación en la triangulación.

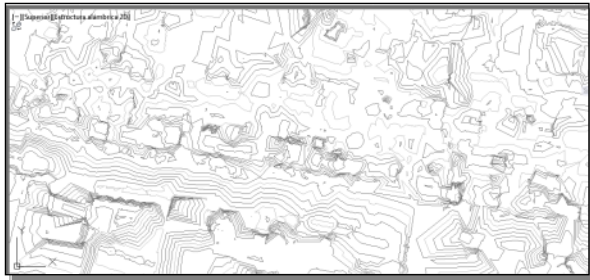


Figura 8. Curvado continuo a partir de puntos LIDAR

Como lo que nos interesa son las zonas de cubierta de los edificios, vamos a limitar los lados de los triángulos hasta los 10 m. de modo que edificaciones contiguas no se vean unidas por el modelo digital. De este modo localizaremos con gran precisión los contornos de los edificios y por tanto, la ubicación, perímetro y superficie de cada una de las cubiertas.

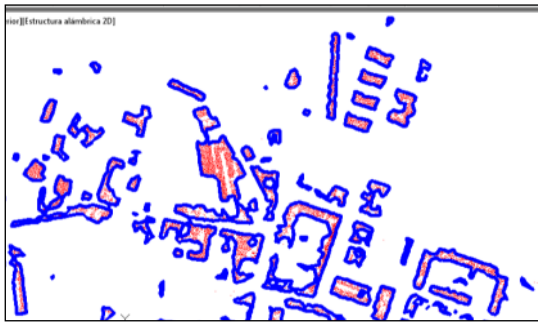


Figura 9. Individualización de cubiertas a partir del modelo digital de puntos LIDAR en edificios.

Tras lo descrito anteriormente, se ha conseguido de una forma rápida y precisa individualizar las cubiertas de la comarca agraria de Santo Domingo de la Calzada. Pero muchos de esos tejados no son aptos para la captación de energía solar, bien por su mala orientación y bien por su escasa o excesiva pendiente (Niko L. and Borut A., 2013). Los programas que trabajan con modelos digitales del terreno, como AUTOCAD Civil3D®, permiten realizar análisis sobre la triangulación y podemos clasificar los faldones localizados de acuerdo a su orientación y pendiente. De esta forma, es relativamente sencillo localizar también las zonas de los tejados mejor dispuestas y con mayor eficiencia energética.

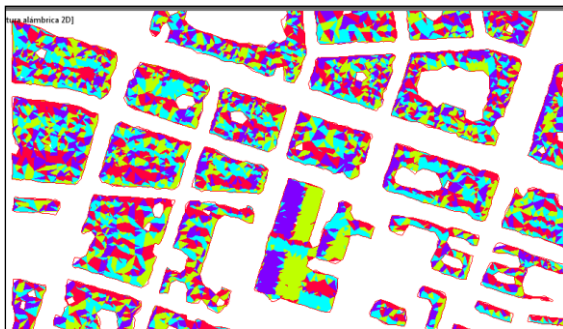


Figura 10. Análisis de orientaciones sobre el modelo.

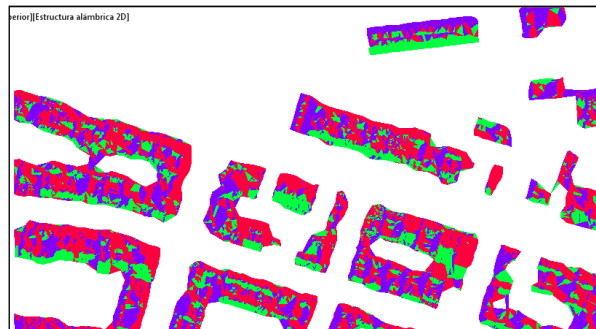


Figura 11. Análisis de pendientes sobre el modelo

Resultados y Discusión

Se ha analizado una superficie total de terreno de 6.400 Has., en las que se identificaron un área de cubierta total de poco más de 69 Has. Es decir, la superficie de terreno ocupada por cubiertas de edificios es de media un 10,7 %. Hay que tener en cuenta que dentro del área estudiada queda integrado el casco urbano de Santo Domingo de la Calzada, que presenta una densidad de cubierta mucho mayor que el entorno rural colindante.

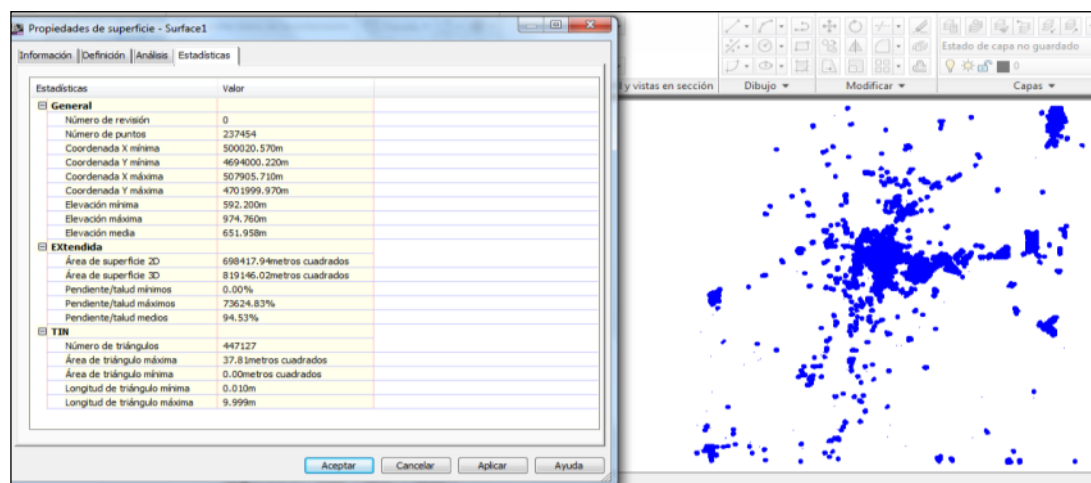


Figura 12. Superficies de cubiertas detectadas en el entorno estudiado.

Si excluyéramos dicho casco urbano, la superficie de cubierta respecto al terreno rural colindante sería en torno al 3 %.

La delimitación automática de contornos (como perímetros de superficies del modelo) puede considerarse admisible, siendo la base de todo el análisis realizado. Se aprecian pequeños defectos en general por omisión, debido fundamentalmente a la poca densidad de puntos en zonas concretas.

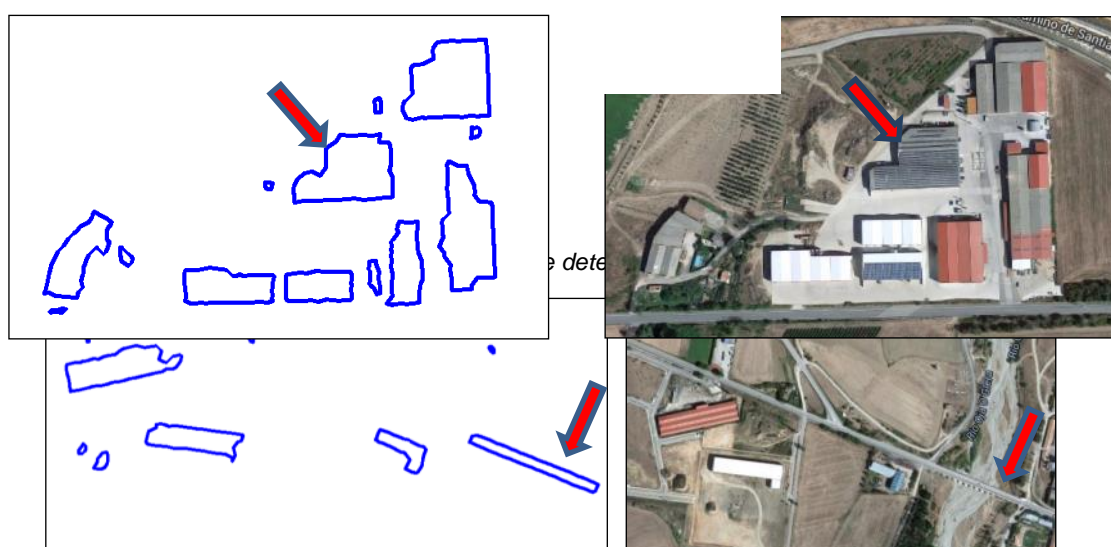


Figura 14. Puente sobre el Río Oja, detectado como cubierta de edificio.



Figura 15. Agrupación de cubiertas detectado como un único contorno

Las herramientas de análisis geométrico del modelo digital generado a partir de los puntos LIDAR en tejados, permiten la selección de aquellas cubiertas que tengan una buena orientación y una buena inclinación, para maximizar la eficiencia energética.

La identificación de cubiertas concretas nos ofrece la posibilidad de establecer políticas dirigidas de apoyo a la inversión en comarcas agrarias deprimidas e incentivar la autogeneración de energía en instalaciones agroindustriales ubicadas en dichas zonas.

Conclusiones

Los datos LIDAR procedentes del programa PNOA son un material muy útil para estudios geométricos de elementos geolocalizados. La identificación de cubiertas en entornos amplios de terreno es de sumo interés para analizar el potencial de aprovechamiento de la energía solar incidente (*Vivek Verma et al, 2006*). La combinación de programas de gestión de datos LIDAR del Plan PNOA y de manipulación de modelos digitales del terreno, se demuestra útil para la detección y análisis de eficiencia de las cubiertas de edificios en el entorno rural.

La baja resolución (0,5 puntos/m²) de los recientes vuelos generalistas estatales produce en el análisis ciertos errores de definición geométrica, pero es suficiente para abordar estudios preliminares que sirvan de apoyo a la toma de decisiones. Vuelos más específicos con resoluciones entre 2 y 5 puntos/m², permitirán sin duda la detección más exacta de cubiertas en amplias zonas de terrenos y la selección de aquellas cuya eficiencia energética sea mayor.

Bibliografía

- Brito M.C., Gomes N., Santos T., Tenedório J.A., 2012. Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Solar Energy*. 86, 283–288.
- Chun-Ming Hsieh,, Yi-An Chen,, Hongwei Tan,, Pei-Fang Lo,, 2013. Potential for installing photovoltaic systems on vertical and horizontal building surfaces in urban areas. *Solar Energy* 93, 312–321.
- Niko Lukač, Borut Alik, 2013. GPU-based roofs'solar potential estimation using LiDAR data. *Computers & Geosciences* 52, 34–40.
- Niko Lukač, 2013. Rating of roofs'surfaces regarding their solar potential and suitability for PV systems, based on LiDAR data. *Applied Energy* 100, 803–812.
- Vivek Verma, Rakesh Kumar, Stephen Hsu, 2006. 3D Building Detection and Modeling from Aerial LIDAR Data. *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*.

P12 - As curriças tradicionais do Nordeste Transmontano. Dados preliminares do estudo para a sua inventariação e valorização.

Barbosa, J.C. ¹

¹CIMO, ESA - Instituto Politécnico de Bragança. Ap 1172, 5301-855 Bragança, Portugal. bb@ipb.pt

Resumo

O presente trabalho pretende dar a conhecer alguns dados preliminares sobre o estudo do estado e utilização actual das curriças tradicionais (construções antigas) da região do Nordeste Transmontano. "Curriça" é a designação local para os edifícios destinados ao alojamento dos rebanhos de ovinos ou caprinos, explorados em regime de pastoreio de percurso.

Neste estudo, foram já inventariadas mais de 500 curriças, na área do no distrito de Bragança. Construções com mais de 50 anos, algumas já tiveram obras de manutenção, remodelação ou transformação; outras mantêm, ainda, a sua construção original. Estas edificações possuem características próprias nos aspectos construtivas, principalmente quanto aos materiais de construção, às dimensões e à sua localização. Esses aspectos conferem às curriças tradicionais algum interesse como elementos do património local e tradicional. As alterações entretanto verificadas nos sistemas de exploração de ovinos e caprinos, principalmente o aumento do número de animais por rebanho, obrigaram à construção de novos alojamentos. Por isso, muitas das curriças tradicionais ou foram abandonadas ou passaram a ser menos utilizadas.

Com o progressivo abandono ou menor utilização, estas construções deixaram de ter manutenção e conservação. Das curriças tradicionais já inventariadas, cerca de 45% estão em bom estado (incluindo-se as que mantêm a construção original e as que foram sujeitas a obras de remodelação) e quase 25% estão em ruína e sem utilização. As curriças tradicionais são construções que podem ter interesse como elementos da arquitectura tradicional e património local. Algumas poderão ser recuperadas, com ligeiras alterações, para a sua função original. Em muitos casos, o interesse relaciona-se com o local e a sua envolvente, que podem ter valor paisagístico ou ambiental. Muitas destas curriças poderão ser recuperadas e reconvertidas para outra função, como turismo, lazer, abrigo temporário ou de apoio a outras actividades.

Palavras-chave: construções rurais antigas, alojamento animal tradicional.

The traditional "curriças" in the northeast of Portugal. Preliminary data from the study for its inventory and valuing

Abstract

This work intends to present some preliminary data about the study of traditional "curriças" (old buildings) of the northeastern region. "Curriça" is the local name for the building to housing of sheep or goats, breeding according rangeland grazing system. We have already listed over 500 "curriças" in the Bragança region. Buildings with more than 50 years, some have had maintenance, refurbishment or conversion works; others maintain its original construction.

These buildings have singular characteristics in their constructive aspects, mainly as building materials, dimensions and its location. These aspects give the traditional "curriças" some interest as elements of local and regional heritage. Changes occurred in sheep and goats breeding systems, especially the increase in the number of animals per herd led to the construction of modern farm buildings, with better access, larger and modern facilities. Therefore, many of the traditional "curriças" were abandoned or rarely used, and their maintenance and conservation was neglected. Currently, about 45% of the listed "curriças" are in good condition (including those which retain the original construction and those that were subject to renovation works) and almost 25% of these traditional "curriças" are in ruin and unused. Traditional "curriças" may be of interest as elements of traditional architecture and regional heritage. Some "curriças" can be restored as shelter for sheep or goat. In many cases, the main reason of interest is in the place or their

surroundings or landscape. Many of these "curriças" could be converted to another function, such as tourism, leisure, temporary shelter, or to support other activities.

Keywords: old farm buildings, housing of animals.

Introdução

Com o presente trabalho, pretendemos apresentar alguns dados preliminares relativos a um estudo que tem estado a decorrer e que visa o estudo do estado e utilização actual das curriças tradicionais na região do Nordeste Transmontano.

Nesta região, o termo "curriça" é usado, de forma geral, para designar os edifícios construídos para alojamento dos rebanhos de ovinos ou caprinos. Existem algumas outras designações locais de incidência mais restrita mas a denominação "curriça" é reconhecida na generalidade da região do Nordeste Transmontano. A designação ovil ou capril é praticamente desconhecida dos criadores de pequenos ruminantes da região ou da população rural. Ainda hoje, as construções mais modernas para alojamento dos pequenos ruminantes continuam a ser designadas como curriças.

Utilizamos a designação curriças tradicionais para identificar as construções antigas, que foram construídas com a finalidade de recolha e alojamento dos rebanhos de ovinos e caprinos. A maioria das curriças tradicionais foi construída em meados do século XX, principalmente nas décadas de 40 e 50, mas existem muitas construções ainda mais antigas.

As curriças antigas eram construídas em função das necessidades dos criadores, tendo em conta o sistema de exploração extensivo, de pastoreio de percurso, e o aproveitamento do território para o pastoreio.

No pastoreio de percurso, os rebanhos de pequena dimensão (geralmente, com efectivos inferiores a 100 cabeças)) alimentavam-se exclusivamente da vegetação e pastagem natural e dos restos ou subprodutos de outras culturas agrícolas. Para fazer esse aproveitamento, o rebanho tinha de fazer diariamente longas caminhadas a percorrer o território de pastoreio (Barbosa e Portela, 2005).

Por outro lado, a ocupação do solo com culturas agrícolas temporárias, principalmente cereais, obrigava a uma gestão anual do pastoreio nessas áreas. Por isso, a maioria das curriças encontra-se dispersa pela área territorial pertencente a cada aldeia (o "termo" da aldeia) em locais isolados e afastados das povoações. A escolha da localização da curriça tinha em conta as áreas de pastoreio, a gestão anual dessas zonas e a variação dos recursos alimentares ao longo do ano (Barbosa, 2000).

Devido à sua idade e época de construção, estas curriças apresentam características construtivas singulares, em resultado dos materiais e das técnicas de construção praticadas à época da sua edificação; do sistema de exploração praticado; e das formas de ocupação do território, predominantes nessa época.

Desde então, houve mudanças nos sistemas de exploração, nas condições económicas dos pastores, nas técnicas e nos materiais de construção. Mudanças que fazem com que estas construções antigas passem a ser pouco adequadas ou obsoletas para as exigências actuais das explorações de ovinos e caprinos. Por isso se podem ver muitas curriças abandonadas ou ruínas, enquanto outras desapareceram. Muitas continuam a ser utilizadas para a finalidade original, mas com uma utilização mais limitada.

As curriças tradicionais, tal como outras antigas construções rurais, não estão preparadas para as actuais exigências das actividades agro-pecuárias. Por isso perderam (ou reduziram) o interesse para a sua função original.

Mas, por outro lado, estas construções antigas possuem características construtivas singulares, que lhe conferem interesse e importância como elementos da arquitectura tradicional e do património local.

Por todo o mundo se verificaram mudanças nas actividades agrícolas ou pecuárias que obrigaram à construção de novos edifícios para apoio a essas actividades. Antigas construções foram abandonadas, degradaram-se ou foram reconvertidas para novas funcionalidades. Mas essas antigas construções, porque foram concebidas e construídas pelos agricultores/criadores ou por artesãos locais, usando os materiais que se encontravam nas aldeias, são portadoras de encanto e singularidade, constituindo-se como elementos importantes do património rural (Bouland, 1998).

Não há nenhum trabalho aprofundado sobre as curriças tradicionais da região de Bragança, mas há outros trabalhos sobre património edificado nesta região, ou em regiões próximas ou com características semelhantes.

Pode-se considerar que a região do Nordeste Transmontano tem um património arquitectónico rural de grande riqueza, com uma grande diversidade de construções dedicadas às actividades rurais tradicionais (Barbosa, 2001). Os pombais tradicionais da região são um dos exemplos de construções mais estudados, tanto na região de Bragança como nas vizinhas regiões de Espanha.

As construções antigas têm um papel importante na valorização da paisagem rural. García e Ayuga (2007) a partir de um estudo em Espanha, fazem uma abordagem muito abrangente das questões associadas ao abandono das construções antigas, dos tipos de construções, da sua importância para o ambiente e paisagem rural, e das possibilidades do seu aproveitamento ou reorientação funcional. Também em Espanha, Fuentes et al. (2012) dão-nos alguns exemplos de reconversão de antigas construções (matadouros) para novas funções, mantendo as principais características arquitectónicas das construções originais.

Alguns anos antes, e numa perspectiva de apoio ao desenvolvimento local e melhoria/aproveitamento de instalações existentes, Pastor-Barrué e Barrué (1991) estudaram, numa região francesa, as condições de utilização de antigas instalações de alojamento animal em região de montanha, identificaram as construções e estudaram as formas de adaptar e aproveitar as antigas instalações.

Na região de Bragança, a quantidade de curriças tradicionais que se pode observar no meio rural, desperta o interesse pela sua inventariação e estudo. Como elementos do património rural devem ser estudadas, valorizadas e preservadas.

Este trabalho de estudo e caracterização das curriças tradicionais abrange a área geográfica do distrito de Bragança, conforme assinalado na Figura 1.



Figura 1. Localização do distrito de Bragança no mapa de Portugal

O distrito de Bragança está situado no nordeste de Portugal, na antiga província de Trás-os-Montes e Alto Douro, e tem a Norte e a Este a fronteira com Espanha. Ocupa uma superfície de 6 608 km² e é composto por doze municípios.

Material e Métodos

A área geográfica a estudar corresponde ao território do distrito de Bragança. Este distrito está dividido em doze concelhos e respectivas freguesias. A planificação e execução do trabalho seguiu esta divisão territorial. Desta forma facilita-se a recolha de informação (estatística e territorial) e a realização de contactos com autarquias e entidades locais.

Para a identificação das curriças e recolha de informação sobre estas construções, recorre-se a várias fontes: cartografia do Instituto Geográfico do Exército: Carta Militar de Portugal, Série M (1:25 000); aplicações informáticas de SIG (sistemas de informação geográfica) assim como cartografia de SIG; entrevistas com pastores e agentes locais (membros de Junta de Freguesia).

A recolha de dados sobre as curriças é realizada no local, utilizando uma ficha de campo para registo de dados sobre todos os aspectos construtivos da curriça e da sua utilização actual. Faz-se a localização geo-referenciada e os registos fotográficos das construções e de elementos da paisagem envolvente, quando seja considerado relevante.

Resultados e Discussão

Do trabalho já realizado, podemos apresentar dados preliminares que abrangem parte da área geográfica do estudo. Os dados já recolhidos dizem respeito a cerca de 30% do território a estudar. Consideramos que estes dados constituem uma amostra viável da região, uma vez que há dados de 10 dos 12 concelhos do distrito e os dois em falta são concelhos onde a produção ovina e caprina tem menor expressão. As áreas já estudadas nos dez concelhos cobrem as diferentes zonas (climáticas e agrícolas) do distrito de Bragança. Até agora, foram já inventariadas 549 curriças tradicionais. Os dados e a informação já recolhida, já permitem uma visão indicativa e muito aproximada da situação actual na região do distrito de Bragança.

Vários aspectos podem ser analisados com os dados disponíveis. Escolhemos cinco indicadores que permitem uma visão geral das principais características das curriças tradicionais e da sua situação actual, como: materiais; dimensões; estado de conservação; obras de reparação ou ampliação; e utilização e localização.

Materiais

As curriças tradicionais mais antigas foram originalmente construídas com materiais de origem local. As curriças menos antigas ou as construções que tiveram obras de reparação/manutenção podem apresentar coberturas com materiais de fabrico industrial, como a telha marselha.

Em todas as curriças, a construção original apresenta paredes edificadas com a pedra existente na região, xisto ou granito, conforme a predominância das rochas no local, ou, por vezes, a combinação destes dois tipos de pedra. Paredes em alvenaria de pedra solta ou, por vezes, com aplicação de uma argamassa de barro.

As coberturas mais antigas são maioritariamente feitas com telha de barro (telha de canal ou de canudo), fabricada na região e sustentadas em estruturas de suporte muito simples, de madeira retirada e trabalhada localmente. Ainda se encontraram três curriças muito antigas com restos de cobertura de colmo (palha) mas em muito mau estado de conservação e abandonadas há muito tempo.

Em muitos casos, as curriças foram sujeitas a obras de diverso tipo: manutenção, reparação, ampliação ou reconversão. Nestes casos houve quase sempre substituição, no todo ou em parte, dos materiais originais.

A utilização de materiais locais na construção das curriças era, para a época da construção, a solução mais viável e económica. A tecnologia disponível na época, o isolamento da região e a inexistência de vias de comunicação eficazes, podem ser, também, razões suficientes para justificar a opção por materiais locais.

Dimensões

A maioria das curriças tradicionais tem área coberta inferior a 100 m². Das construções já inventariadas, mais de 65% tem área inferior a esse valor. Por outro lado, são muito poucas (menos de 6%) as curriças já inventariadas com área coberta superior a 200 m².

Entende-se a predominância de construções com área coberta relativamente reduzida, tendo em conta o efectivo médio dos rebanhos na época da construção. Tanto os dados estatísticos como os trabalhos de vários autores confirmam que a maioria dos rebanhos tinha apenas algumas dezenas de cabeças e raramente chegavam a ter cem animais.

A dimensão das portas é um factor importante a considerar. Nas curriças já estudadas, mais de 80% destas construções apresenta portas com largura inferior a 2 metros. As portas estreitas não constituíam qualquer problema à data da sua construção, mas com o aparecimento de novas tecnologias, estas portas de reduzidas dimensões limitam as possibilidades de mecanização nas instalações de animais.

De referir que em muitas aldeias da região de Bragança as curriças tradicionais possuíam, para além da área coberta, um parque exterior descoberto, delimitado por paredes semelhantes às do edifício coberto. O parque exterior era construído para o alojamento dos animais durante as noites de Verão.

Estado de conservação

Na tabela 1 podemos verificar a avaliação que se fez sobre o estado de conservação das construções já inventariadas. Considerou-se como bom estado de conservação, quando as construções apresentam as paredes e a cobertura em bom estado e não

necessitam, a curto prazo de obras de reparação; como estado razoável, quando há partes de paredes ou partes da cobertura que precisam de obras de manutenção ou reparação a curto prazo; como ruína, quando são visíveis desabamentos do todo ou parte da cobertura ou de pelo menos uma das paredes.

Tabela 1. Estado de conservação das construções (número e percentagem).

Nº de construções	bom estado	estado razoável	ruína
549	245 (44,6%)	168 (30,6%)	136 (24,8%)

Como se vê pela Tabela 1, quase 45% das curriças já inventariadas apresenta-se em bom estado de conservação. Mas neste número estão incluídas muitas construções que já tiveram obras de reparação e, na maioria dos casos, com alteração das dimensões e dos materiais originais. Por outro lado, quase 25 % das curriças tradicionais estudadas estão em estado considerado de ruína e, portanto, sem qualquer utilização actual. A alta percentagem de curriças em bom estado pode explicar-se pelo facto de muitos pastores ainda utilizarem estas construções antigas e, por isso, o cuidado com a sua conservação.

Obras de reparação ou ampliação

A realização de obras de reparação ou ampliação das curriças visa, geralmente, adequar estas construções às necessidades actuais de maneio dos rebanhos de ovinos ou de caprinos e às exigências do trabalho nas actuais explorações de pequenos ruminantes.

Nas curriças inventariadas, as obras realizadas foram, principalmente, obras conservação (substituição de materiais) ou obras de ampliação das dimensões de portas ou da altura das paredes. Um dos aspectos a salientar é que estas obras envolveram a substituição dos materiais originais e nem sempre houve a preocupação de manter a singularidade destas construções. Na Figura 2 podemos ver dois exemplos de obras realizadas em curriças antigas.



Figura 2. Exemplo de obras de ampliação da porta (A) e de aumento da altura das paredes (B)

Na curriça A estão a decorrer obras de ampliação da porta principal e foi substituído o telhado; na curriça B foi feita a ampliação da porta principal, aumentou-se a alturas das paredes e foi colocado novo telhado. Como se pode verificar na figura, a colocação de novos materiais altera a estética da construção e retira-lhe a singularidade original.

Utilização e localização

Cerca de 44% das curriças já inventariadas ainda tem algum tipo de utilização. Podemos considerar que é um número significativo, atendendo a que se trata de construções erigidas há tantos anos. Mas esta utilização pode ser entendida em função do sistema extensivo de exploração de pequenos ruminantes, que é praticado na região.

Num sistema de pastoreio de percurso, como é o sistema tradicional de exploração de ovinos e caprinos da região de Bragança, os rebanhos em pastoreio percorrem diariamente vários quilómetros para aproveitamento dos recursos alimentares disponíveis na área territorial da respectiva aldeia. Ao longo do ano, a variação desses recursos faz com que se alterem as zonas predominantes de pastoreio em cada época do ano. Por isso, e para o pastor melhor gerir os percursos de pastoreio e reduzir as distâncias a percorrer pelos animais, é vantajoso dispor de instalações para alojamento dos rebanhos, nas diferentes zonas de pastoreio na área territorial da aldeia. A maioria dos pastores possui um alojamento principal, que é o mais utilizado, mas também dispõe de outras instalações que usa temporária ou esporadicamente, em diferentes zonas do território. Muitas vezes as curriças antigas são uma opção alternativa para a gestão da área de pastoreio.

Outra aspecto a considerar é a localização das curriças. Estas construções estão, na sua maioria, dispersas pelo território pertencente à aldeia; muitas vezes em locais ermos e isolados ou de difícil acesso. Na Figura 3 podemos ver dois exemplos de curriças que, hoje em dia, ainda são utilizadas para recolha de rebanhos, de forma esporádica, em locais isolados.



Figura 3. *Dois exemplos de curriças em locais ermos e de difícil acesso*

Tal como nos exemplos da Figura 3, há muitas curriças antigas que estão situadas em locais que podem ter interesse ambiental, de fruição da natureza ou paisagístico. Quando deixarem de ser usadas pelos pastores, estas construções antigas, poderiam ser aproveitadas e valorizadas para outras funções ou actividades económicas ou sociais, como abrigos, instalações de apoio a actividades de turismo ambiental ou da natureza.

Conclusões

A secção das conclusões incluirá de um modo abreviado as principais conclusões do trabalho.

Após o trabalho já realizado e considerando os primeiros dados já recolhidos, parece-nos ser possível afirmar que:

Na área geográfica do distrito de Bragança é possível encontrar um número relativamente elevado de curriças tradicionais.

Existe um grande número de curriças que está em bom estado de conservação. Há, ainda, muitas curriças em estado de conservação razoável, pelo que a sua reparação poderá ser feita sem custos elevados.

Muitas curriças tradicionais ainda são utilizadas para recolha de rebanhos de ovinos ou caprinos. A utilização é, na maioria dos casos, temporária e/ou esporádica.

Muitas destas construções antigas estão dispersas pelo território, isoladas, em locais com algum interesse paisagístico ou ambiental. Estas construções, quando abandonadas, poderão ter outras formas de utilização e valorização. Poderão ser recuperadas e reconvertidas para outra função, como turismo, lazer, abrigo temporário ou de apoio a outras actividades

Bibliografia

- Barbosa, J. C., 2000. O sistema tradicional de exploração de ovinos em Bragança. Série Estudos, nº 46, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Barbosa, J. C., 2001. Valorização e aproveitamento das construções rurais em Trás-os-Montes, como elementos do meio rural e da actividade agrícola. Actas do 1º Congresso de Estudos Rurais, SPER (Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais), Vila Real, Setembro 2001. 14 pp.
- Barbosa, J. C., Portela, J. 2005. Traditional itinerary sheep farming in Trás-os-Montes: a useful tool for land management. In: A. Georgoudis; A Rosati; C Mosconi (Eds) Animal production and natural resources utilisation in the Mediterranean mountain areas. EAAP publication nº 115. Wageningen Academic Publishers, pp. 163-167.
- Bouland, H., 1998. Barns across America. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
- Fuentes, J. M., García, A. I., González-Montellano, C., Gallego, E., and Ayuga, F., 2012. Reuse of vacant agroindustrial buildings. The case of the public slaughterhouses in Spain. In: Proceedings of the International Conference of Agricultural engineering CIGR-AgEng 2012. Valencia (Spain), July 2012. 6 pp.
- García, A. I., Ayuga, F., 2007. Reuse of abandoned buildings and the rural landscape: The situation in Spain. Transactions of the ASABE 50 (4), 1383-1394.
- Pastor-Barrué, M., Barrué, M., 1991. Architecture, élevage et société en montagne - une expérience pilote de développement local intégré dans les vallées pyrénéennes. CNRS, Paris.

P13 - Gestión de vegetación autóctona mediterránea para minimizar el impacto producido por un campo de golf.

García-Ventura, C.¹; González-García, C.¹, Cámara-Hurtado, R.M.¹, García-García, M.J.¹

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Camino de las Moreras s/n 28040 Madrid. claudia.gventura@alumnos.upm.es, concepcion.gonzalez@upm.es

Resumen

En este trabajo se aborda la identificación y gestión de los impactos generados sobre una masa de encinar autóctona (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) en un área de 183 ha al norte de la Comunidad de Madrid (Término Municipal de San Sebastián de los Reyes), ocupada por una instalación deportiva como es el caso de un Campo de Golf. Se analiza la influencia de diversos factores (bióticos, abióticos y antrópicos) en el deterioro progresivo de la masa de encinar. Entre los factores bióticos más destacables se encuentran insectos y hongos, entre los abióticos el suelo y el agua de riego empleada, y entre los antrópicos se encuentran las modificaciones en la topografía del terreno para la instalación de los campos de juego, el exceso de riego para mantenimiento de césped, la compactación del suelo debida a las actividades del juego, así como los daños provocados por la maquinaria en la creación y mantenimiento del campo. Una vez identificados los problemas que afectan al estado vegetativo de los pies en los campos y calles de la instalación, desde el año 2007, se han aplicado tratamientos vigorizantes en una muestra de encinas, y se han llevado a cabo actuaciones selvícolas de mejora como mantenimiento adecuado de troncos y copas mediante podas. Con el objeto de estudiar y validar la eficacia de dichos tratamientos y actuaciones se realiza un análisis estadístico de los datos obtenidos in situ, entre ellos, del "índice de defoliación de las copas", desde el año 2007 hasta el año 2014. La evolución temporal de dicha información indica un alto grado de mantenimiento o mejora de la vitalidad en la mayoría de encinas tratadas.

Palabras clave: gestión medioambiental, instalaciones deportivas, decaimiento forestal, *Quercus ilex*.

Native Mediterranean vegetation management to minimize the impact produced by a golf course

Abstract

This work makes an approach to the identification and the management of the impacts generated on a native holm oak wood (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) in a 183 ha area located in the north of the Community of Madrid (San Sebastian de los Reyes), occupied by a golf course. The objective is to establish the relation between the factors that interact in the environment and the progressive decay of the native woodland. The most remarkable factors are: biotic like insects and fungi, abiotic like climate, soil and irrigation water, and anthropological like the amended topography for the building of the golf course, soil compaction due to the grass, the irrigation system as well as the damages resulting from the creation and maintenance of the golf course. In order to study and to validate the efficiency of the treatments applied in a sample of holm oaks and some actions made to improve the vitality of the trees, an statistical analysis was carry out based on the obtained data on field. One of them was "crown defoliation index", from 2007 to 2014. The time pattern of this information has shown a high degree of maintenance or improvement of vitality in most holm oaks treated.

Keywords: environmental management, sports facilities, forest decay, *Quercus ilex*

Introducción

La creación y mantenimiento de un campo de golf en un espacio con vegetación arbolada previa, genera una serie de impactos que deben ser identificados para establecer las medidas correctoras sobre el arbolado necesarias en cada caso. Esto con

independencia del correspondiente Estudio de Impacto Ambiental asociado al proyecto de construcción del campo, en el que se definían y analizaban los impactos ambientales derivados de la implantación del mismo.

El criterio básico del diseño del campo fue minimizar la afección al arbolado. La construcción del campo supondría la reducción inmediata, con efectos a corto y medio plazo, de la superficie forestal existente, si no se llevaban a cabo las repoblaciones establecidas en el Estudio de Impacto Ambiental. Como medidas del proyecto a llevar a cabo sobre la vegetación se incluían entre otras, trasplantes, la obligación de repoblar con especies autóctonas y restricciones en las operaciones a realizar en las cercanías de los individuos a conservar.

En la ejecución del proyecto se llevaron a cabo numerosos movimientos de tierra (desmontes y terraplenes) para completar el diseño propuesto. Sin embargo, como indica el Estudio de Impacto Ambiental, dichos movimientos se plantearon menos intensos en las zonas arboladas a conservar. También, como medida de protección para el arbolado se evitó realizar ninguna operación en un radio de 3 metros alrededor de los árboles a conservar, sea cual fuera el tamaño de la copa, con el objetivo de no dañar las raíces.

Como antecedentes de los usos previos de la finca y de la vegetación arbórea en la que actualmente se ubica el campo de golf, se observan podas en encinas con un diámetro mayor de 80 cm y con una edad mayor de 200 años (Perea, 2010), que indican un posible aprovechamiento de leñas en épocas pasadas. Dichos aprovechamientos en ocasiones han influido en la vida útil del individuo debido a que la alta intensidad de poda a la que han sido sometidos han podido ocasionar consecuencias indeseables como: brotaciones masivas, desorganización, debilitamientos, infecciones o pudriciones que reducen su consolidación estructural (Igüñez, 2005)

Tras la instalación del campo y su puesta en funcionamiento se llevaron a cabo varios estudios (inventario de arbolado, estudio edafológico, estudio e inventario fitopatológico, análisis de las aguas de riego) que permitieron establecer los principales factores bióticos (insectos y hongos), abióticos (suelo, agua de riego) y antrópicos (modificación de la topografía del terreno, compactación del terreno por pisoteo, exceso de humedad en el suelo por la presencia del césped, sistema de riego, daños provocados por la maquinaria en la creación y mantenimiento del campo) que contribuyen al decaimiento y muerte de las encinas.

Todo ello ha llevado a la selección del mayor número posible de encinas, dentro de lo permitido por la gestión de la instalación y por razones presupuestarias, para su tratamiento con productos fitosanitarios vigorizantes y preventivos, así como actuaciones de tipo selvícola como podas y mantenimientos de troncos libres de chupones (brotes de la base del tronco) o ramillas (Serrada y San Miguel, 2008).

Material y Métodos

Área de estudio y características

El área de estudio es un campo de golf al norte de la Comunidad de Madrid (Término Municipal de San Sebastián de los Reyes) construido en el año 1997 y en actividad constante desde esa fecha. Dicho campo cuenta con 36 hoyos repartidos en una superficie de 183 ha. Además cuenta con una serie de construcciones auxiliares como

el edificio principal y balsas de agua, así como otras instalaciones deportivas no vinculadas con el golf.

Del proyecto de implantación de la instalación deportiva se han extraído las siguientes características de la zona:

- La vegetación potencial y actual que ocupa el campo es el encinar mesomediterráneo siendo las especies acompañantes los quejigos y los enebros. Las especies de matorral principales son la jara pringosa (*Cistus ladanifer*), la lavanda (*Lavandula angustifolia*) y la retama (*Retama sphaerocarpa*).
- La topografía del lugar es suave, en la que destacan dos lomas que definen los valles por los que discurren dos arroyos afluentes del río Jarama. La cota máxima de la finca es de 721 m y la mínima de 601m.
- En cuanto a la Geología, la finca está situada sobre materiales sedimentarios, terciarios que rellenan la depresión del Tajo. La facies que aflora es la detrítica o de borde. En los cauces bajos de los arroyos aflora, con escaso desarrollo horizontal y vertical, un cuaternario fundamentalmente arcilloso-arenoso.
- Del suelo, tras la realización y análisis de una calicata realizada en el año 2007, se obtuvo un perfil edáfico que corresponde a un terreno arcilloso A-Bt-Ck.
- En el área de estudio domina el clima xerofítico de inviernos fríos, la sequedad tiene una duración de 3,5 meses, la precipitación estival (mes de julio) mínima mensual es de 12,5 mm, precipitación anual de 451 mm y temperatura media del mes más frío (enero) de 5,6 °C (<http://www.aemet.es/> acceso 25/03/2015).

Factores que influyen en el deterioro de las encinas

Los principales **factores bióticos** con presencia significativa son:

- Insectos defoliadores: *Catocala nymphagoga*, *Tortrix viridana*.
- Insectos perforadores: *Cerambyx sp.* (González et al. 2010)
- Insectos descomponedores de la madera: *Platypus cylindrus*.
- Hongos: *Botryosphaeria stevensii*, *Phytophthora cinnamomi*, *Armillaria mellea*, *Ganoderma lucidum* y *Ganoderma applanatum*, *Meripilus giganteum*.

Factores abióticos y antrópicos con mayor influencia en el encinar:

- Perfil del suelo: la textura influye en la mayoría de los aspectos hídricos del suelo (retención, infiltración, conductividad). En el suelo arcilloso el gradiente de evaporación es más elevado cuanto más cerca de la superficie y, mucho más pequeño una vez desecado el suelo (Ingelmo *et al.*, 1979). Sin embargo, la cantidad de agua retenida a capacidad de campo y punto de marchitez permanente es siempre mayor para las texturas finas en comparación con las gruesas y la diferencia de contenido hídrico a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, es decir, el volumen de agua disponible para las plantas, tiende a ser máxima en los suelos finos a francos (Kramer y Boyer, 1995; Lambers *et al.*, 1998)
- Compactación del suelo debida a la constante presión mecánica de personas, vehículos y maquinaria, en los primeros centímetros del perfil, lo que provoca una reducción en la macroporosidad del suelo. Esto dificulta la capacidad de exploración



radical y la difusión de oxígeno afectando al pasaje de agua dentro del perfil (Beard, 1973). La textura es el principal factor intrínseco del suelo que determina su grado de susceptibilidad a la compactación mecánica (Faure y Rubio, 2002). El suelo del área de estudio no se encuentra entre los ideales para céspedes que deben pertenecer a las clases texturales areno franco (70-85% de arena) o areno arcillo limoso (50-80% de arena) (McCoy, 1998).

- Movimientos de tierras realizados en el campo: han supuesto en algunos casos daños para la vegetación arbórea como cortes en las raíces (realización de zanjas a menos de 3m del tronco del árbol, según planos del proyecto), enterramiento del cuello (como se ha comprobado en campo), que van contribuyendo al decaimiento de los individuos de encina. Actualmente se pueden seguir observando en el campo, prácticas de este tipo en obras de drenaje o mantenimiento.

- Riego con agua regenerada que se caracteriza normalmente por su mayor salinidad, siendo necesario un control cuidadoso de potenciales riesgos relacionados con el lixiviado de sales hacia el subsuelo (Brauen y Stahnke, 1995). En el campo de estudio, este tipo de agua se emplea regularmente y de análisis químicos realizados en 2007 (Cámara, 2009) se observa cierta salinidad (clase 3 de conductividad) y con bajo contenido en sodio.

La combinación de la salinidad con la compactación del terreno provoca una acumulación de sales en el suelo que será absorbido por las raíces, con efectos perjudiciales para la encina.

- Golpeteo del agua de riego (Fig.1 y Fig. 2) sobre los troncos: los aspersores actualmente son del tipo circular de manera que el agua incide directamente sobre los troncos de algunos ejemplares, aumentando el grado de humedad en ellos, además de los depósitos salinos en el suelo. Estos dos factores no son los más aconsejables para la corteza del árbol, que se debilita, perdiendo sus propiedades y generando una situación de riesgo de entrada de agentes patógenos.

	
<p>Figura 1. Desarrollo de hongos en la corteza por el impacto del agua de un aspersor cercano. (Autora: Rosa Cámara).</p>	<p>Figura 2. Zona de la corteza afectada por la humedad generada con el riego por aspersión. (Autora: Rosa Cámara).</p>

Una vez identificados los principales factores que inciden negativamente en el vigor vegetativo de las encinas, se procedió a la búsqueda de tratamientos tanto selvícolas (podas para eliminación de ramas y ramillos muertos, partidos o podridos) como fitosanitarios compatibles con la gestión y mantenimiento de este tipo de instalaciones: minimizar las intervenciones en el suelo por la presencia del césped, paso de personas, tanto adultos como niños, requerimientos del juego, además del condicionante económico del presupuesto disponible destinado a tratar el mayor número posible de encinas para su mejora y mantenimiento.

Con estos condicionantes en el año 2007 se inició en un número representativo de encinas seleccionadas, la aplicación de productos fitofortificantes y preventivos contra agentes patógenos transmitidos a través del suelo (Pérez-Ramos *et al.*, 2012).

Metodología de selección y localización de ejemplares

En primer lugar se elaboró un inventario de las encinas situadas en las calles del campo de golf, siendo georreferenciadas, sobre una base de fotografías aéreas digitalizadas, con lo que se dispone de una base de datos cartográfica de situación de cada pie.

A continuación se inició el seguimiento del estado fitosanitario de los árboles, midiendo el porcentaje general de defoliación que presenta la copa. La selección de pies testigos y a tratar se realizó empleando la variable “grado de defoliación”.

La defoliación es un parámetro básico para cuantificar el estado aparente de salud del arbolado. Esta valoración se realiza según las categorías establecidas en la guía de Ferreti, 1994. La defoliación se evalúa por tramos en cinco clases de defoliación de desigual amplitud (Tabla 1), y son las que se aplican en el estudio del “Estado de los bosques de Europa. Informe de 2000” elaborado por el Centro Federal de Investigación en el sector de la Silvicultura y los Productos Forestales (BFH) de Hamburgo para la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa y la Comisión Europea (http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/ayudas-y-subsidios/exec_es_tcm7-9645.pdf).

Tabla 1. Clases y grados de defoliación.

Clase de defoliación	Pérdida de hojas	Grado de defoliación
0	0-10%	nulo
1	10-25%	ligero
2	25-60%	moderado
3	60-100%	grave
4	100%	terminal

Mediante esta variable se puede seguir la evolución de las encinas comparando el grado de defoliación desde que se mide la primera vez con la de años o períodos sucesivos de manera que se puede observar si el individuo mejora, empeora o permanece sin cambios.

Con el objeto de comparar la eficacia de los tratamientos, se seleccionaron en cada campo (la instalación cuenta con dos campos denominados CN y CS) una serie de pies (30 en cada uno de los dos campos) en los que se midió el grado de defoliación en el año 2007 (Cámara, 2009). Sin embargo estos datos no se pueden emplear en este trabajo dado que no se continuó posteriormente midiendo la evolución de estas encinas

en un número suficiente. No obstante, todos los años se revisa el inventario de encinas sin tratar y se localiza las que es necesario cortar por estar terminales o muertas y así evitar la transmisión de patógenos a otras encinas o caídas de ramas que puedan poner en peligro a personas.

Para la selección de encinas a tratar se utilizó el siguiente criterio: en primer lugar aquellos pies con un grado de defoliación grave o moderado, en segundo lugar aquellas que por su localización, tamaño o singularidad resultaba aconsejable tratar.

El primer año (2007) de tratamientos se seleccionaron un total de 110 encinas, 65 encinas del CN y 45 encinas del CS. El número de encinas tratadas en años sucesivos varía (Tabla 2) debido principalmente a motivos presupuestarios o a la muerte de la encina. Cuando ha sido necesario reducir el número simplemente se han excluido algunas de ellas con el mismo criterio que se llevó para incluirla.

Tabla 2. Número de encinas tratadas por año.

AÑO		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº encinas	C.N	65	65	25	25	25	25	25	25
	C.S	45	44	15	15	15	15	15	15

Los tratamientos se aplican en el suelo para ser absorbidos por las raíces en primavera –finales de marzo o mes de abril- por ser el inicio del período vegetativo, y en otoño –mes de octubre- dado que las encinas tienen un período de crecimiento durante las lluvias otoñales (Vázquez-Piqué *et al.*, 2010); por tanto, los tratamientos en esta época sirven de prevención y ayuda al árbol a defenderse de patógenos en el suelo durante el período invernal. Las condiciones climáticas adecuadas son: sin previsión de precipitaciones en, al menos, los 4 ó 5 días siguientes a la aplicación, o bien 1 ó 2 días después de un período de lluvias para evitar el lavado de los productos aplicados.

Los productos empleados en la inyección radicular, en disolución acuosa, son del tipo (información obtenida de la ficha de los productos):

- Bioactivador de resistencias: fitofortificante sistémico ascendente y descendente; compleja formulación a base de compuestos activos metálicos y sulfatos, totalmente compatible y asimilable. Es absorbido y traslocado sistémicamente por toda la planta sin causar fitotoxidades, induciéndola, de forma natural, a producir fitoalexinas y compuestos fenólicos. Favorece los procesos metabólicos de defensa de la planta frente a los daños causados por hongos y bacterias, evitando los colapsos que se producen en los vasos del xilema, y por lo tanto, facilitando el transporte de agua y nutrientes.
- Regulador hormonal inductor natural de la rizogénesis (fortalece las raíces): formula cofactores de enraizamiento natural y macronutrientes para incrementar la expresión genética de la planta que se ve afectada por los diversos tipos de estrés a los cuales está sometida la planta y que tienen como consecuencia un desequilibrio entre las hormonas de crecimiento (auxinas, citoquininas y giberelinas) y las hormonas del estrés (etileno y ácido abscísico). Este producto induce un equilibrio hormonal adecuado durante toda la temporada de crecimiento haciendo a la planta más resistente.

Resultados y discusión

De las encinas sin tratar que se han encontrado en estado terminal o muertas en las calles de los dos campos, y ha sido necesario su apeo en este periodo, se observa que su número aumenta en los últimos años (Tabla 3).

Tabla 3. Evolución número encinas muertas y apeadas en el período 2007 - 2014.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº encinas muertas	6	12	6	6	14	12	14

En los dos primeros años (2007-2008), el número de encinas tratadas es similar (110 y 109 respectivamente), observándose mejoría en el grado de defoliación de la clase “ligero”, y empeorando en el caso de moderado y grave (Fig. 3).

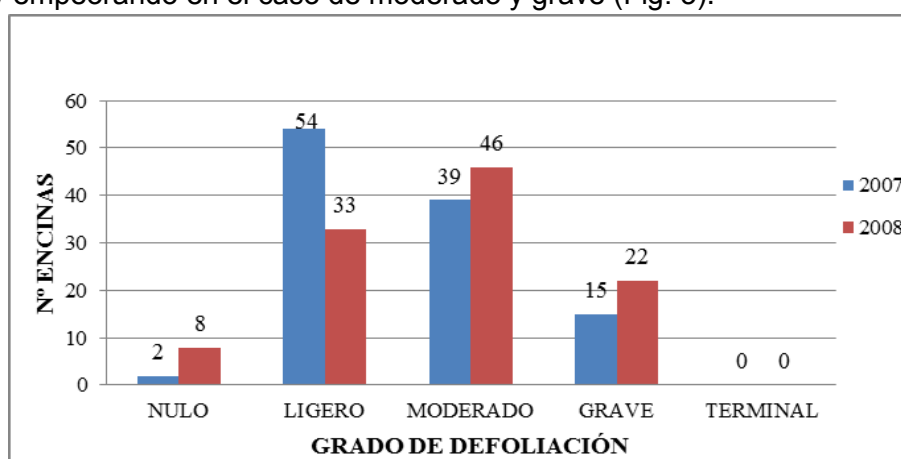


Figura 3. Evolución grado de defoliación 2007-2008.

Así, en el año 2008 se produce mejoría en 5 encinas, empeoran 35 y se mantienen sin cambios 68 ejemplares. Es decir, en 2008 mejoran el 4,6 % frente al 23% experimentado en el año 2007. Además, en 2008 empeoró el 32% de las encinas en tratamiento frente al 13% en 2007. Este deterioro se ha producido en igual número en las encinas del CN y CS.

En el año 2009, se redujo el número de encinas tratadas y, por tanto, los resultados se refieren a las 40 encinas que se continúan tratando. La Tabla 4 presenta el grado de defoliación de esas 40 encinas que se comenzaron a tratar en 2007.

Tabla 4. Grado inicial de defoliación.

AÑO	Grado de defoliación				
	nulo	ligero	moderado	grave	terminal
2007	2	12	20	6	0

Por otra parte, dado que el número de encinas tratadas ha variado a lo largo del tiempo, se realiza una perspectiva completa de la evolución ponderando adecuadamente el porcentaje de encinas que mejora, permanece estable o empeora en cada periodo. De esta manera, en la Fig. 4 se resume la situación global en el período 2007 – 2010, a

partir del grado de defoliación. La mitad de los individuos ha mejorado su estado y tan solo el 20 % ha empeorado.

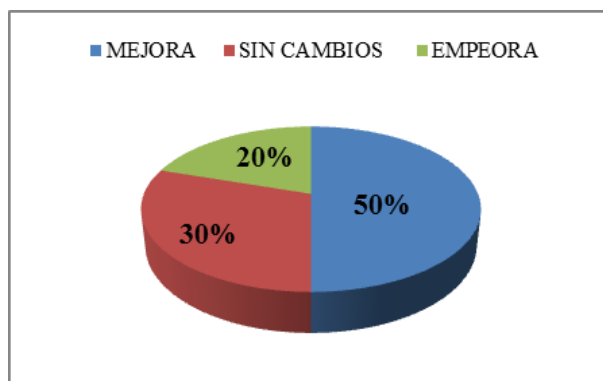


Figura 4. Evolución estado encinas en tratamiento 2007-2010.

Según la situación en la instalación se observó mejoría en el CN: El número de encinas con grado *grave* disminuye, dos de ellas pasan a grado de defoliación *ligero* y una de ellas experimenta una menor mejoría (*moderado*). Sin embargo en el CS, aunque disminuye el número en la categoría de *graves*, empeora el estado de tres encinas que se encontraban en buen estado.

Los resultados globales de los siguientes 4 años de tratamiento (2010 -2014), Fig. 5, muestran que más de la mitad (65%) de los ejemplares permanece estable, lo que sugiere que, los tratamientos pueden estar aumentando su resistencia, aunque los factores adversos continúen incidiendo sobre ellos.

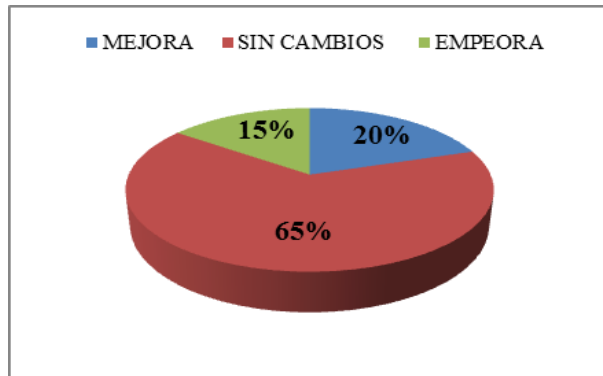


Figura 5. Evolución estado encinas en tratamiento 2010-2014.

Durante este periodo (2010-2014), en el CN se apreció una clara evolución positiva, ya que las encinas que anteriormente tenían grado de defoliación *grave* y *moderado* pasaron a ser *ligero* y *nulo*, mientras que en el CS aumentó el número de encinas *terminales* y con grado *moderado*, sin que el deterioro en general se pueda considerar excesivo, ya que no hay ninguna encina con grado de defoliación *grave*.

Se observa en el año 2012, el empeoramiento de algunas encinas que desde el año 2007 habían permanecido con un grado de defoliación similar. Este hecho se ha asociado a que el otoño de 2011 se caracterizó por ser seco y caluroso; así el mes de septiembre de ese año registró un mínimo (1,2 mm) de precipitaciones (en período de 1986 a 2013, el rango de precipitaciones en septiembre es de 56,6 – 1,2 mm en estación de la AeMet de Madrid Barajas), siendo en 2011 las temperaturas medias de

septiembre a noviembre (21,5°C, 16,4°C y 10,9°C respectivamente) más elevadas que en los mismos meses de 2010 y 2012. Esta época del año coincide con la fructificación y con cierto crecimiento del árbol si existe hidratación otoñal de precipitaciones (Vázquez-Piqué *et al.*, 2010).

De 2007 a 2014, comparando el grado de defoliación de las 40 encinas en tratamiento al inicio y en el momento actual (Fig. 6), se observa que ha aumentado el número de encinas con grado de defoliación *nulo*, se mantiene el mismo número de ellas con grado *ligero*, disminuye el número de ellas con defoliación *moderada* y *grave*. Esta disminución es por el estado terminal, observado en tres de ellas en 2014.

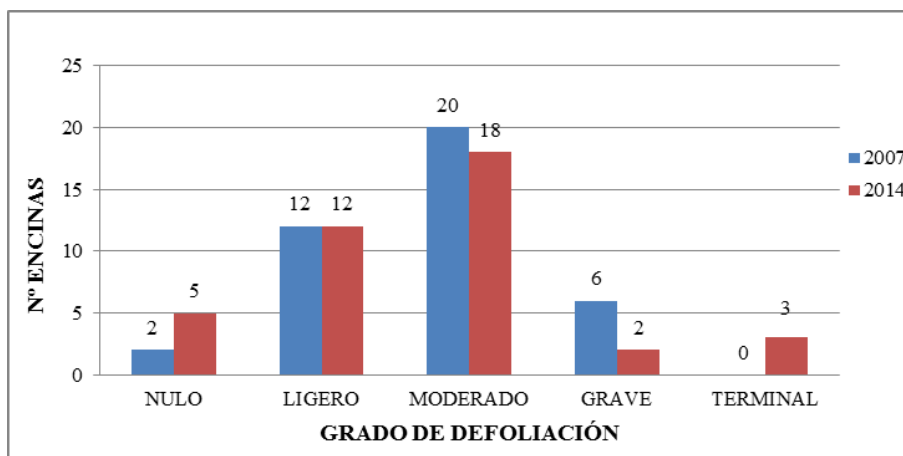


Figura 6. Evolución del grado de defoliación 2007-2014.

De manera similar los gráficos de Fig. 7 y Fig. 8 representa la evolución del grado de defoliación desde el año de inicio de los tratamientos por campos de la instalación. En CN disminuye el número de encinas con grado grave, moderado y ligero, mientras que aumentan las de grado nulo y terminal (Fig. 7).

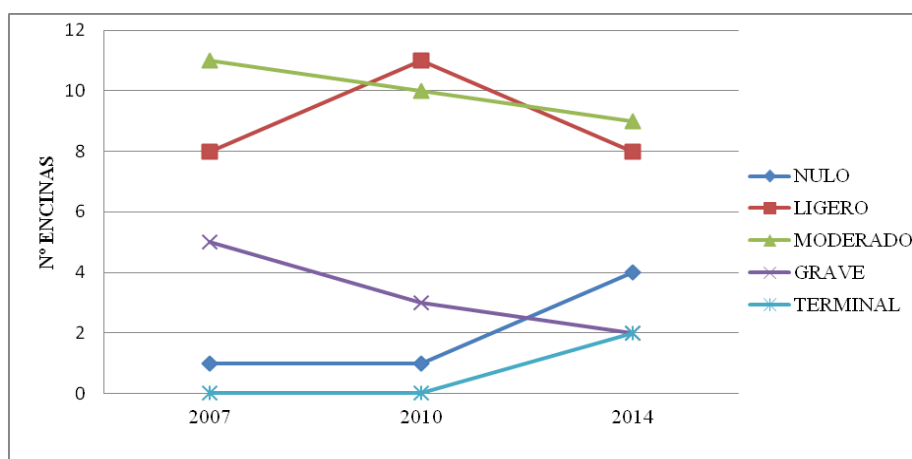


Figura 7. Evolución del grado de defoliación en el campo norte 2007-2014.

En el CS el número de encinas con grado de defoliación *nulo* aumenta en 2010 (Fig. 8) pero vuelve a disminuir al final del período de estudio; en estado *grave* disminuye el número porque alguna de ellas pasa a estado *terminal* aumentando el número en este último estado; el número en estado *moderado* aumenta mientras que en estado de *ligera* defoliación permanece estable durante todo el período.

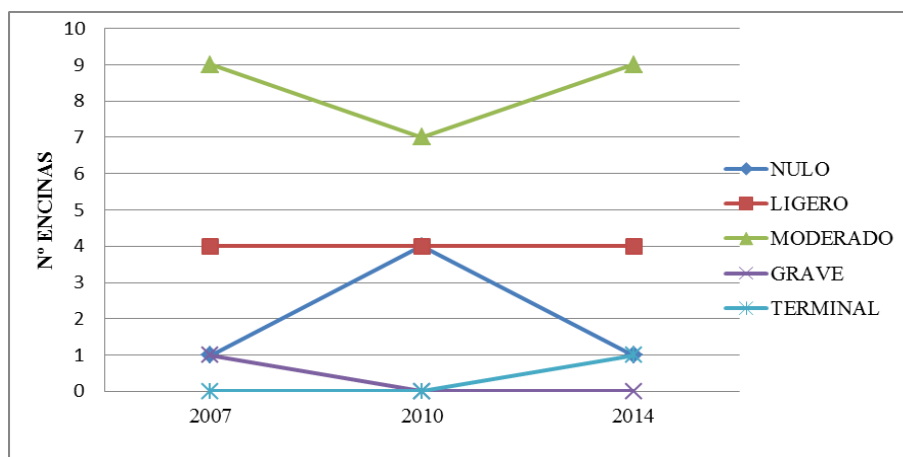


Figura 8. Evolución del grado de defoliación en el campo sur 2007-2014.

La evolución del grado de defoliación tanto en el CN (Figura 7) como en el CS (Figura 8) no difiere de la que se mostró en los periodos 2007-2010 y 2010-2014, siendo más positiva en el CN que en el CS.

En líneas generales, casi la mitad de las encinas se mantienen en un grado *moderado* (25-60 %) y el resto se reparte en mayor medida en el grado *ligero* y *nulo*, y afortunadamente *grave* y *terminal* son una minoría (3 y 2 respectivamente en 2014).

Conclusiones

La interacción de los factores tanto bióticos como abióticos citados en este trabajo influyen de manera negativa en las encinas situadas en las calles de los campos de la instalación deportiva, como se ha observado en encinas presentes en el campo que no se encuentran en tratamiento. Todas ellas presentan signos de exceso de humedad en tronco con cuerpos de fructificación de hongos y galerías de perforadores.

Los tratamientos adoptados muestran una mejora del estado vegetativo de los árboles en la mayoría de los casos, y algo más del 25 % de los individuos se mantiene en el mismo estado, y solo un pequeño porcentaje ha empeorado de manera sustancial llegando en casos puntuales a la muerte del individuo (2 casos).

En el CN la mejora de las encinas en tratamiento ha sido notable en el periodo considerado. Sin embargo en el CS no ha sido tan destacable. Esto se debe a que las encinas del CN se encontraban previamente en un mejor estado sanitario que las del CS.

Encinas tratadas, en estado *terminal* y *grave* han sido en las que se ha observado la presencia de agentes bióticos como hongos de pudrición e insectos perforadores.

Referencias

- Beard J.B. 1973. Turfgrass: Science and culture. 658 p. Regents/Prentice Hall, NJ.
- Brauen, S.E. y Stahnke, G. (1995) Leaching of nitrate from sand putting greens. USGA Green Section Record, 33(1), 29-32.
- Cámara Hurtado, R. 2009. Estudio del deterioro progresivo de un encinar (*Quercus rotundifolia* L.) situado en un campo de golf. Trabajo presentado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA) E.T.S.I de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

- Faure, E.; Rubio, G.; 2002: Desgaste, compactación y fertilización; problemas a resolver en áreas destinadas a céspedes. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, núm. 14.
- Ferreti, M. (ed.) 1994 *Especies forestales mediterráneas: Guía para la evaluación de las copas*. CEC-UN/ECE, Bruselas/Ginebra.
- González, E., Gallego, D., Lencina, J.L., Closa, S., Muntaner, A., Núñez, L. 2010. Propuesta de una metodología para la determinación de los niveles de infestación por *Cerambyx cerdo* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Cerambycidae). Evaluación de los niveles de infestación en Mallorca, año 2009. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 36: 157–163.
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Plagas%20FBS_VP_36_02_157_163.pdf (acceso 25/03/2015).
- Iguñiz Agesta, G., 2005: *Apuntes de Plantación, Poda y Gestión Estructural de Arbolado Urbano*. Cuadernos de Arboricultura N°1. Asociación Española de Arboricultura.
- Ingelmo, F., Cuadrado, S., Blanco de Pablos, A. 1979 Evaporación de agua en suelos de distinta textura. *Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada del CSIC-Vol. VI*: 255-280.
- Kramer, P. J., Boyer, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils*, 2ª Ed. Academic Press, San Diego. 495 pp.
- Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L. 1998. *Plant physiological ecology*. Nueva York. SpringerVerlag. 540 pp.
- McCoy E.L. 1998. Sand and organic amendment influences on soil physical properties related to turf establishment. *Journal of the American Society of Agronomy* 90: 411-419.
- Perea, R. 2010. Dehesas mixtas de encina y alcornoque en el Oeste de la provincia de Toledo: Caracterización de la masa y estado de regeneración tras 18 años de acotado al pastoreo. En: *Actas del II Congreso de la Naturaleza de Toledo*. Universidad de Castilla-La Mancha, Diputación provincial de Toledo y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Pp. 383-392. ISBN: 978-84-96211-52.
- Pérez-Ramos, I.M., García, L.V., Sánchez, M.E. y Marañón, T. 2012. Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. *New Phytologist* 194: 1014–1024.
- Servicio de Sanidad Forestal – Dirección. Gral. de Desarrollo Rural y Política Forestal. 2012 *Red de Seguimiento a Gran Escala de Daños en los Montes (Red de Nivel I)*. Manual de Campo. Ministerio de Agricultura, alimentación y Medio Ambiente.
- Serrada, R.; San Miguel, A. 2008. Selvicultura en dehesa, pp: 861-876 . En: Serrada, R.; Montero, G. y Reque, J. (Eds.) *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid
http://www2.montes.upm.es/Dptos/DptoSilvopascicultura/SanMiguel/publicaciones/2006-2010/2008_Selvicultura%20de%20dehesas_Compndio_selvicultura_rev.pdf, acceso 25/03/2015).
- Vázquez- Piqué, J., Alejano Monge, R., Benavides Calvo, R., Martín Pérez, D., López-Carrasco, C., Macías Fernández, R., González-Pérez, M.A., Mutke Regneri, S. y Roig Gómez, S. 2012. Influencia del Clima y la Humedad del Suelo en la Fenología del Crecimiento Secundario de Encina (*Quercus ilex l. subsp. ballota* [desf.] samp.) en un Gradiente Climático Peninsular. *Cuadernos Sociedad Española de Ciencias Forestales* 35: 125-133.

P14 - Espacialização e Estrutura de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter (Cactaceae), no Agreste da Paraíba, Brasil

Bruno, R.L.A.¹; Barbosa, A.S.¹; Andrade, A.P.^{1,2}; Alves, F.A.¹; Souza, M.A.¹; Nascimento Jr, J.R.S.²; Bezerra, J.D.C.²

¹ Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias - Campus II, Rodovia BR 079 - Km 12, CEP 58.397-000, Areia, PB, Brasil, lanebruno.bruno@gmail.com; aldasibarbosa@cchsa.ufpb.br; albericio@uol.com.br; abel_agro@yahoo.com.br; mayarandrade@hotmail.com; ² Universidade Federal da Paraíba, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias - Campus II, Rodovia BR 079 - Km 12, CEP 58.397-000, Areia, PB, Brasil, soliun@hotmail.com; anieirebezerra@hotmail.com

Resumo

As cactáceas constituem um grupo de plantas de ampla distribuição no Agreste paraibano, com elevado potencial forrageiro, ornamental e medicinal o que as tornam importantes recursos fitogenéticos para a região. O objetivo do trabalho foi analisar a estrutura e distribuição espacial de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter em caatingas antropizadas no Agreste da Paraíba, Brasil. Foram realizados levantamentos estruturais nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista-PB, utilizando-se 1 ha em cada área amostral. Os indivíduos foram amostrados e etiquetados medindo-se a altura e o diâmetro ao nível da base de cada planta. A população foi descrita pela área basal, densidade (DA), frequência (FA) e dominância (DoA) absoluta. Utilizou-se o algoritmo de Função de Base Radial (FBR) no programa SURFER[®] para prever a distribuição espacial da espécie nos ambientes de caatinga. Foram amostrados 124 indivíduos adultos e 12 em regeneração natural na área de Arara, (N=136 ind.), 179 indivíduos adultos e 91 em regeneração natural em Areial (N=270 ind.) e 169 em fase adulta e 3 em regeneração natural em Boa Vista (N=172 ind.). A área basal para população de Arara foi de 3.52 m², Areial 2.10 m² e Boa Vista 3.82 m². Em ambas as caatingas os espécimes apresentaram tendência ao agrupamento, sob forma de pequenos núcleos populacionais. Os espécimes de Areial apresentam menor altura e diâmetro caulinar devido o maior grau de antropização da área. As populações apresentam similaridade em termos de distribuição espacial, contudo a antropização das áreas de caatinga afeta estruturalmente as populações de *P. pachycladus*.

Palavras chave: Facheiro, Caatinga, Semiárido.

Spatialization and Structure of *Pilosocereus pachycladus* F. Riiter (Cactaceae), in the Agreste of Paraíba, Brazil

Abstract

The cacti are a group of plants widely distributed in the Agreste of Paraíba, the species have high forage, ornamental and medicinal value which makes them important plant genetic resources for the region. The objective was to analyze the structure of *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter in the disturbed caatingas of Agreste of Paraíba. Structural surveys were made in the cities of Arara, Areial and Boa Vista-PB, using 1 ha in each sampling area. Were sampled and tagged all individuals, by measuring the height and base diameter of each plant. The population was described by the basal area, density (DA), frequency (AF) and dominance (DoA) absolute. We used the Radial Basis Function algorithm (RBF) in SURFER[®] program to predict the spatial distribution of species in the studied areas. 124 adults were sampled and 12 in natural regeneration in Arara area (N = 136 ind.). Were also sampled 179 adults and 91 natural regeneration in the area Areial (N = 270 ind.); 169 in adulthood and 3 in natural regeneration in the area of Boa Vista (N = 172 ind.). The population in Arara presented 3.52 m² of basal area, Areial 2.10 m² and Boa Vista 3.82 m². In both areas of caatinga specimens tended to cluster, with the form of small population's nuclei. Specimens of Areial, area with the highest degree of human disturbance. The populations have similarity in terms of spatial distribution, yet anthropization of caatinga areas structurally affects populations of *P. pachycladus*.

Keywords: Facheiro, Caatinga, Semiarid

Introdução

A família Cactaceae distribui-se por toda a região da América Tropical com aproximadamente 1.900 espécies, das quais 300 estão distribuídas em 100 gêneros (Areces, 2004). Apenas a espécie *Rhipsalis baccifera* ocorre naturalmente na África Tropical e no Sri Lanka. Subdividida em três subfamílias: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* e *Cactoideae* (Nyffeler, 2002), seus espécimes possuem ampla adaptação aos ambientes áridos e semiáridos continentais, Barthlott (1993) as descreve como árvores perenes, arbustos ou trepadeiras, apresentando caule suculento e adaptações tanto morfológicas quanto na estrutura floral, com diferentes tipos de sistemas de polinização.

O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade de Cactaceae, com aproximadamente 200 espécies (Souza et al., 2005) a caatinga é apontada como centro de diversidade da tribo *Cereeae*, sendo o centro norte do México e região semiárida do Oeste dos Estados Unidos caracterizados pelas tribos *Cactae* e *Pachycereeae*. Na América do Sul está situado na região Andina, região ocupada por parte do Peru, Bolívia, Chile e Argentina caracterizado pelos representantes *Browningieae*, *Notocactaeae* e *Trichocereaeae* (Barthlott e Hunt, 1993).

O facheiro pertence ao gênero *Pilosocereus* encontrado no México e na América do Sul, pertencente à subfamília *Cactoideae*, tribo *Cereeae*. O gênero *Pilosocereus* Byles & Rowley, compreende a 36 espécies neotropicais de ocorrência no Brasil com aproximadamente 26 espécies, distribuídas na caatinga, rochas, afloramentos rochosos, florestas de espinho, agrestes e nos campos rupestres do Planalto Brasileiro (Zappi, 1994). Segundo Zappi (2008) de 160 cactáceas ocorrentes em nosso país, 42 espécies, representando 26% da família ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga.

Na caatinga do agreste da Paraíba, Barbosa (2011) identificou a ocorrência de duas espécies, a *Pilosocereus pachycladus* e *Pilosocereus piauhyensis* [(Gürke) Byles & G. D. Rowley], sendo conhecidas por facheiro e facheiro dourado, respectivamente, ambas espécies caracterizadas pela abundância de pilosidades ao redor dos espinhos e florescimento nas aréolas próximas ao caule, com antese noturna sendo polinizados por morcegos durante a estação seca (Anderson, 2001). Essas espécies possuem sensibilidade às perturbações ambientais, sobretudo àquelas causadas por intervenções antrópicas, uma vez que possuem longos ciclos de vida, baixa taxa de crescimento individual, distribuição geográfica restrita, como também a dependência de outros organismos na sua fase reprodutiva (Godínez-Alvarez e Ortega-Baes, 2006), não obstante podem ser ameaçadas pelo comércio internacional não legalizado, coleta ilegal e a modificação de seu habitat.

As cactáceas nativas, sobretudo o gênero *Pilosocereus*, necessitam de estudos que possam demonstrar os padrões de dispersão, as relações com o ambiente em que vivem sua capacidade de adaptação e resiliência aos ambientes ora antropizados, por se tratarem de um recurso fitogenético regional de importância para os nichos ecológicos dos fragmentos de caatinga remanescentes.

Estudos abordando padrões de distribuição de cactáceas foram empreendidos (Hernández e Bárcenas, 1995; Mourelle e Ezcurra, 1997; Guerrero et al., 2008; Santos, 2010), entretanto, são tímidos os dessa natureza com espécies da caatinga nordestina, ou quando realizados no leste do Brasil procuraram correlacionar o desenvolvimento

das espécies com as variáveis ambientais, entretanto não contemplaram a avaliação *in locus* de populações em áreas da caatinga onde os espécimes se encontravam. Tais estudos passam necessariamente pela predição do comportamento estrutural e espacial dos espécimes nas respectivas populações vegetais (Lundberg e Ingvarsson, 1998; Leite, 2001).

Esses caminhos investigativos são importantes para elucidar os mecanismos de adaptação da espécie ao seu ambiente natural, conhecer melhor o comportamento dessas populações e estabelecer programas futuros de conservação. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi analisar estruturalmente e espacialmente populações de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter em áreas de caatinga do Agreste da Paraíba, Brasil.

Material e Métodos

O levantamento populacional foi realizado em três fragmentos florestais de caatinga localizados nos municípios de Arara (25 M 192007 9243179 UTM), Areial (25 M 175834 9218837 UTM) e Boa Vista (24 M 698981 9133272 UTM), localizados em diferentes fitofisionomias na mesorregião Agreste Paraibano.

O método utilizado foi o de parcelas contíguas (Muller-Dombois; ElleMBERG, 1974; Rodal et al., 1992; Ramalho, 2008; Barbosa, 2011) em área de um hectare. Esse método vem sendo utilizado para o estudo da caatinga, e permite inferências mais apropriadas para determinados aspectos da vegetação em estudo, como exemplo a distribuição espacial de populações. As três áreas foram divididas em 100 parcelas de 10mx10m totalizando uma área amostral de 30.000m².

Em cada parcela foram amostrados e etiquetados com placas de alumínio todos os indivíduos da população. Foi mensurada a altura do caule principal com o auxílio de uma vara tubular graduada de todos os indivíduos e circunferência foi aferida ao nível da base, com auxílio de suta dendrométrica

O processamento dos dados quantitativos da população para obtenção dos valores de estrutura horizontal foi realizado por meio do programa *Microsoft Office*® – *Excel* 2010. A população foi descrita pela densidade absoluta (DA), frequência absoluta (FA), área basal (AB), dominância absoluta (DoA) e índice de agregação de McGuinness (IGA).

Os dados relacionados ao diâmetro e altura foram analisados a partir da elaboração de histogramas de distribuição de frequência de classes. A análise da distribuição em diâmetros permite inferir sobre a dinâmica das comunidades de populações vegetais (Scolforo et al., 1998; Pulz et al., 1999), e neste sentido sua interpretação em histogramas de frequência pode elucidar as possíveis perturbações passadas sofridas pelas populações e permitir estratégias para o uso sustentável destas numa perspectiva futura. Os histogramas foram elaborados com auxílio do programa BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007).

Os mapas de isolinhas de distribuição espacial em relação ao número de indivíduos por caatinga, diâmetro do caule e altura total foram produzidos com auxílio dos aplicativos *Microsoft Office*® – *Excel* 2010, *SURFER*® v. 8 (*Golden software*, Colorado, EUA) e *Corel DRAW*® v. X4, para a tabulação dos dados iniciais, modelagem e auferimento do grau de domínio da espécie em cada um dos ambientes, respectivamente.

Com auxílio de um GPS *Garmin® eTrex Venture® HC* foram coletadas as coordenadas de cada espécime em cada área de caatinga. O equipamento foi configurado para SAD-69 (Datum Sul Americano) e modo de coordenadas adotado foi o UTM (*Universal Transverse Mercator*). As coordenadas foram importadas para o computador com auxílio do aplicativo *MapSource Garmin®*, em seguida os bancos de dados foram compilados no *Microsoft Office® – Excel 2010*.

Após verificação da ausência de correlação a curta distância pelos semivariogramas das variáveis consideradas neste trabalho, a heterogeneidade espacial e das variáveis foi caracterizada pela estatística clássica, considerando que as observações são estatisticamente independentes umas das outras. No aplicativo *SURFER®* a conversão dos dados numéricos para a malha base e plotagem dos mapas foi utilizado algoritmo de Função de Base Radial (*Radial Basis Function*).

Resultados e Discussão

Foram amostrados 124 indivíduos adultos e 12 em regeneração natural na área de Arara (N=136 ind.; DA=136 ind.ha⁻¹); 179 indivíduos adultos e 91 em regeneração natural em Areial (N=270 ind.; DA=270 ind.ha⁻¹) e 169 em fase adulta e 3 em regeneração natural na área de Boa Vista (N=172 ind.; DA=172 ind.ha⁻¹) (Tabela 1). A população em Boa Vista apresentou área basal (AB=3.82), Arara (AB=3.52 m²) superiores a Areial (AB=2.10 m²), (Tabela 1). Neste sentido a taxa de ocupação da espécie em Boa Vista distingue-se dentre as demais, característica associada ao estágio ontogenético avançado dos espécimes na área.

Tabela 1. Estrutura horizontal de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil

ÁREA	NP	REG	ADU	N	AB	DA	FA	DoA
Arara	100	12	124	136	3.52	136	70	3.52
Areial	100	91	179	270	2.10	270	83	2.10
Boa Vista	100	3	169	172	3.82	172	79	3.82

NP = número de parcelas; REG = indivíduos regenerantes; ADU = indivíduos adultos; N = número de indivíduos; AB = área basal em m²; DA = densidade absoluta (ind.ha⁻¹); FA = frequência absoluta (%); DoA = dominância absoluta.

Em termos absolutos a regeneração natural ocorre efetivamente em Areial. Essa caatinga foi tida como a mais antropizada representada pela redução no tamanho da vegetação nativa, com fragmentação da vegetação representada por pasto nativo, culturas anuais e elevada densidade demográfica da espécie.

Neste sentido, Ribeiro (2011) demonstrou o caráter oportunista da espécie em áreas antropicamente perturbadas, sendo essa relação associada a condições de solo favoráveis, no entanto quando a perturbação atinge a predação dos agentes polinizadores essa relação é invertida, o que não foi observado nessa área.

As populações apresentaram tendência ao agrupamento com 1.13; 1.52 e 1.10, para Arara, Areial e Boa Vista, respectivamente (Tabela 2). De acordo com Janzen (1976) a tendência ao agrupamento e a agregação são comuns para espécies que possuem síndromes de dispersão zoocórica e autocórica. Quirino (2006) estudando síndromes de dispersão na caatinga comentou que a dispersão de algumas cactáceas é ornitocórica.

Possivelmente, esse padrão de distribuição associa-se às espécies locais ornitófilas, e isso pode estar intimamente relacionado com o padrão dispersivo da espécie.

Tabela 2. Estrutura horizontal de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil

ÁREA	D	d	IGA	Classificação do IGA
Arara	1.36	1.20	1.13	Tendência ao Agrupamento
Areial	2.7	1.77	1.52	Tendência ao Agrupamento
Boa Vista	1.72	1.56	1.10	Tendência ao Agrupamento

D = número total de indivíduos da espécie/número total de parcelas alocadas; d = $-\ln(1-FA/100)$ (ln = logaritmo neperiano e FA = Frequência Absoluta); IGA = Índice de Agregação de McGuinness

A estrutura hipsométrica dos indivíduos em Arara (Figura 1a), verificou-se indivíduos com altura entre 1,3m a 2,6m, considerado reduzido para a espécie. Os indivíduos com até 5m de altura são considerados jovens ou em fase de desenvolvimento, podendo atingir até 10m de altura. O fato do grande número de plantas estarem em tamanho considerado juvenil, está intimamente relacionado às interferências externas, refletindo em intervenções humanas ou naturais que podem comprometer os estádios ontogenéticos da espécie. Os espécimes de Arara, em sua maioria, demonstraram diâmetro caulinar reduzido, típico de populações em sucessão. Esses indivíduos garantirão a resiliência da população se não forem observadas a retirada da vegetação da área, bem como a preservação dos polinizadores e dispersores da espécie. A juvenildade da população possivelmente pode estar associada a retirada predatória das matrizes para a alimentação animal na estação seca, e neste sentido interferindo no equilíbrio etário da população. Espécimes com reduzido diâmetro caulinar ocorrem em sua grande maioria (73,5%), os quais não ultrapassam 13,6 cm (Figura 1 b). O número de espécimes em fase juvenil supera preponderantemente os adultos, caracterizando a não homeostase da população.

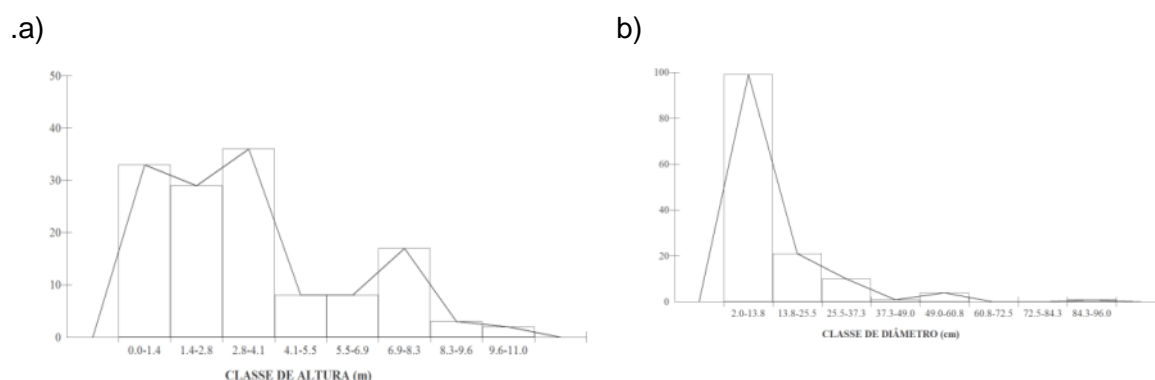


Figura 1. Estrutura hipsométrica (a) e diamétrica (b) da população de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter numa caatinga do município de Arara-PB

Em Areial, cerca de 160 indivíduos apresentaram altura com até 1,1m (Figura 2a), compondo cerca de 75% dos indivíduos estão recrutando a população, confirmando a possibilidade da perpetuação da espécie no ambiente. A estrutura diamétrica apresenta-se com a mesma tendência ao perfil hipsométrico, a três quartos da população apresenta diâmetro diminuto, não ultrapassando 6,1 cm (Figura 2b). Dada às características da vegetação é possível suportar que o elevado nível de regeneração da

espécie pode-se configurar num caráter oportunista da população, conforme observado por Ribeiro (2011).

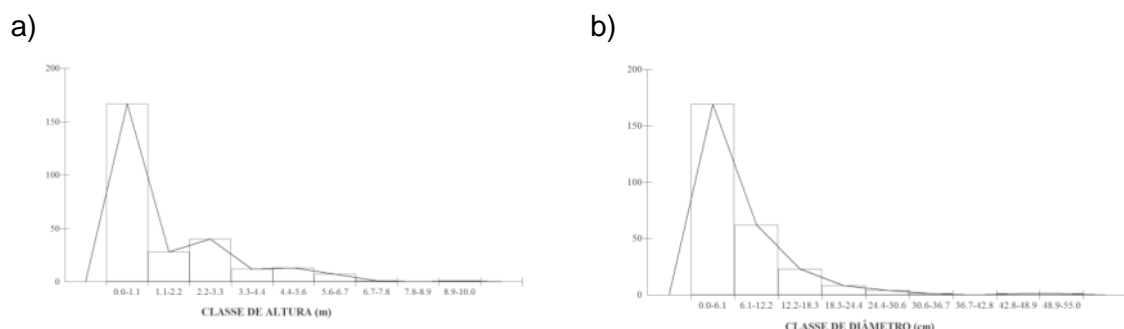


Figura 2. Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica da população de facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) numa caatinga do município de Areial-PB

Na caatinga de Boa Vista, a mais conservada, a população demonstrou estrutura diamétrica e hipsométrica típica de uma curva de normalidade, demonstrando o prevaecimento de espécimes em fase adulta (Figura 3a e 3b). A estrutura diamétrica apresenta-se bem distribuída assim como a estrutura hipsométrica, acompanhando as os estádios ontogenéticos dos espécimes, com aporte de indivíduos em fase reprodutiva com cerca de 18 cm de diâmetro e altura entre 6 e 8m. Tal característica assegura o aporte de propágulos para o recrutamento de novos indivíduos na população. Apesar da existência de locais mais conservados, com recentemente introdução do pastejo de bovinos e caprinos controlados, observou-se a derrubada de espécimes e predação de outros, podendo configurar-se como um dos fatores na predação dos indivíduos e em consequência afetar o recrutamento da população.

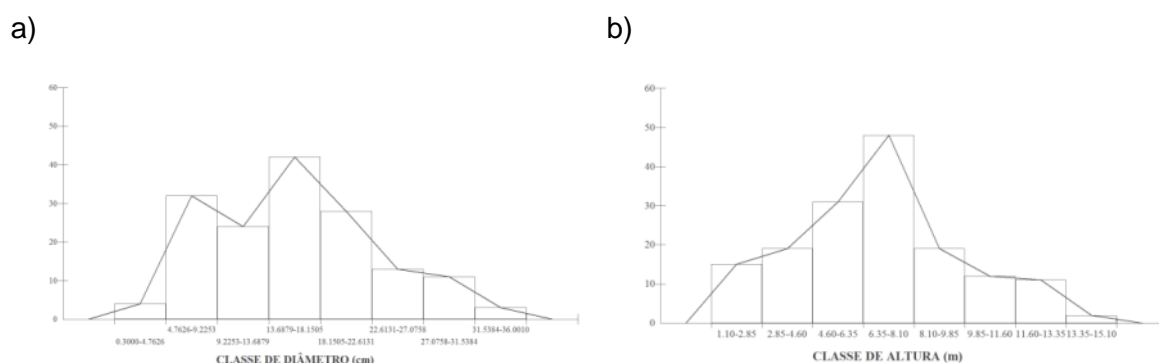


Figura 3. Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica (b) da população de facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) numa caatinga no município de Boa Vista-PB

Os espécimes apresentaram tendência ao agrupamento e aumento na abundância absoluta em pontos específicos das áreas de caatinga estudadas. Em aproximadamente 86,5% da caatinga de Arara a abundância foi de 2 indivíduos, seguida de 9,7% com 3 e 4 indivíduos, visualizando-se na área mais clara a maior aglomeração dos espécimes (Figura 4a). O padrão de tendência ao agrupamento para cactáceas é observado devido a síndromes de dispersão bem como a facilidade das partes vegetativas contribuírem para a população no recrutamento de novos indivíduos.

Na caatinga de Areial, o mesmo padrão foi observado, entretanto formando “ilhas” populacionais (Figura 4b). Em 49,2% da caatinga, a abundância foi de 1 indivíduo, seguida de 31,3% com até 3 indivíduos, demonstrando-se assim a formação de

pequenos aglomerados nessa caatinga. E cerca de 2,6% da superfície foram amostrados até 9 indivíduos.

Em Boa Vista observou-se uma população uniformemente distribuída ao longo das classes de diâmetro e altura estabelecidas, sendo observado também o padrão de agregação (Figura 4c).

A presença de alguns aglomerados é nitidamente observada, aproximadamente em 81,2% da área foram amostrados até 2 espécimes, seguido de 17,1% com abundância absoluta de 3 a 4 indivíduos.

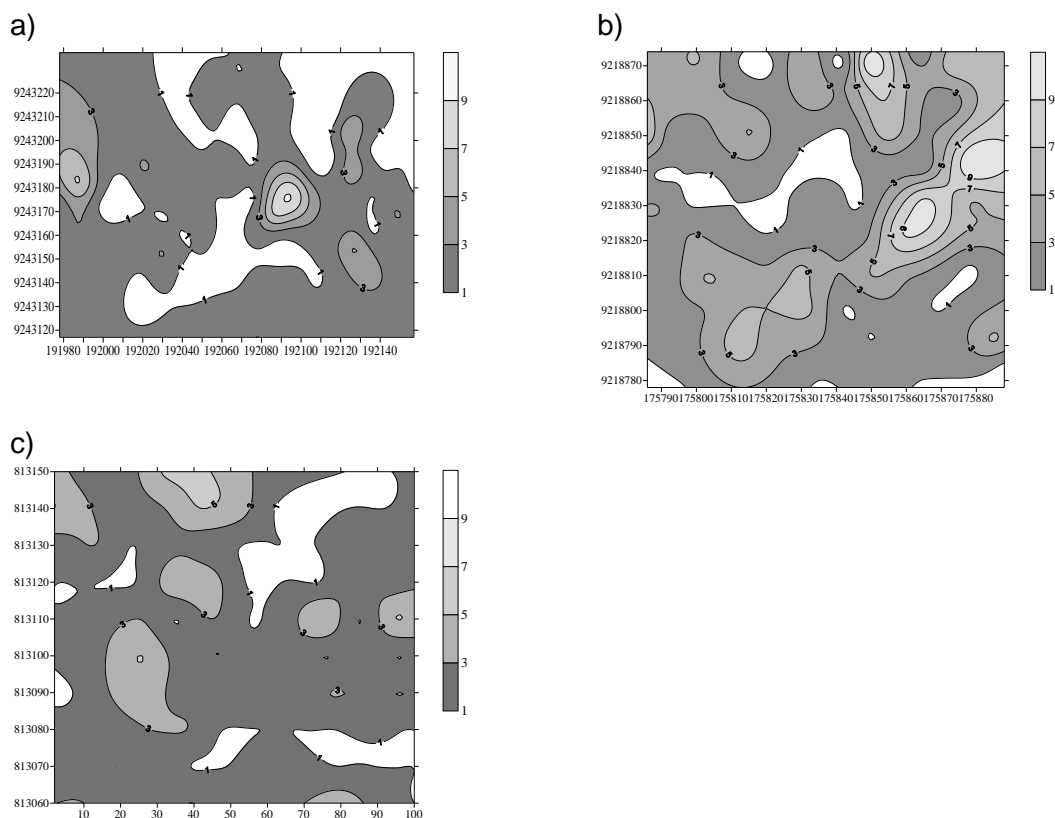


Figura 4. Predição do padrão da distribuição espacial em relação a abundância absoluta de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter em áreas de caatinga de Arara (A), Areial (B) e Boa Vista-(C), Paraíba

A tendência de agrupamento demonstrada neste trabalho também foi observada no trabalho de Hernández e Bárcenas (1995) onde estudaram modelos de distribuição de cactos ameaçados de extinção na região do deserto de Chihuahuan no México e constataram que os quadrados com alto número de espécies estavam agregados em áreas de altitude moderada.

A alta densidade populacional de *P. pachycladus* em Areial é uma característica típica ambiental, e pode não necessariamente estar atrelada ao fator antropização. Entretanto, Ribeiro (2011) afirma que cactáceas do gênero *Pilosocereus* apresentaram comportamento oportunistas em face a ambientes antropizados.

A caatinga de Areial é caracteristicamente xérica com textura do solo arenosa, embora densos com mal drenagem no horizonte B, típico de planossolos, no entanto, apresenta-se como um substrato favorável para o crescimento e desenvolvimento de cactáceas (Barbosa, 2011). A fitofisionomia regional é um dos fatores importantes para inferir

sobre os descritores estruturais de populações vegetais, estas por sua vez podem exercer influência no aumento ou na redução da abundância de espécimes (Pitrez, 2006).

Nessa perspectiva, o tamanho do fragmento florestal, a presença de material orgânico, oriundo da caducifolia é um importante componente para o desenvolvimento das populações de *Pilosocereus* sp. (Alves et al., 2007), uma vez que estes espécimes não apresentam sistema radicular profundo, pelo contrário suas raízes distribuem-se bem nos primeiros horizontes do solo, tendo em vista a necessidade da captação de água ao cair das primeiras chuvas, bem como a necessidade e armazenamento em organelas e tecidos celulares.

Os ambientes antropizados caracterizam-se pela redução na densidade vegetal, retirada de madeiras nobres de maior valor comercial e, resultando menor aporte e ciclagem de nutrientes. Contudo, as populações vegetais são afetadas drasticamente por meio da fragmentação dos remanescentes florestais, acarretando prejuízos no fluxo gênico e na estrutura genética das populações desses ambientes (Costa e Scariott, 2003).

A redução do tamanho original da população, em Arara e a fragmentação da população em Areial, e por conseguinte o número de espécimes reprodutivos poderá aumentar a probabilidade de cruzamento de indivíduos aparentados, permitindo a longo prazo ocorrer a perda da diversidade genética da população remanescente (Costa e Scariott, 2003).

Não obstante às perturbações de natureza antrópica nos fragmentos, Santos (2010) afirma que a distribuição de cactáceas no leste do Brasil está correlacionada com variáveis geoclimáticas, particularmente as vinculadas à latitude e longitude, como a sazonalidade, precipitação e temperatura (Murphy e Lugo, 1986), o que sugere que esses fatores têm influenciado a evolução e especiação da família. Variáveis como temperatura e precipitação são determinantes para formações vegetais na biosfera, bem como a dinâmica adaptativa aos eventos hídricos (Noy-Meir, 1973; Ledru, 1993; Behling, 1998; Ledru et al., 1998; Safford, 2007). Uma vez, que importante ressaltar que as caatingas de Boa Vista e Areial são tidas como as mais xéricas e de maior abundância da espécie.

A estrutura populacional de *P. pachycladus* ao longo das três caatingas que não pode ser explicada pelas condições do estado de conservação das áreas “*per si*” ou pela variação abiótica; pode estar relacionada com eventos pouco perceptíveis ou mensuráveis que contribuem para a heterogeneidade do habitat, como a incidência local de luz e os microhabitats formados por outras plantas “*nurse-plants*” ou rochas “*nurse-rocks*” o que vem sendo estudado para cactáceas (Drezner, 2006; Machado et al., 2008; Peters et al., 2008). Podem ser importantes interações das cactáceas com outros organismos (Rivera-Marchand; Ackerman, 2006; Schlumpberger et al., 2006; Rocha et al., 2007). Neste sentido, outros estudos devem ser empreendidos para analisar a magnitude das plantas berçário e sua possível interação com *P. pachycladus* e outras cactáceas nativas.

Conclusões

A caatinga de Boa Vista apresenta-se como área de domínio de *Pilosocereus pachycladus*, com evidencia de alterações da estrutura populacional. A caatinga de Areal tem maior densidade absoluta de *P. pachycladus*, contudo a altura dos indivíduos é menor bem como o diâmetro caulinar.

Bibliografia

- Alves, F.C., Pupin, C.T., Cano, D.D., Petarli, F.A., Alguquerque J.J.O., Limoeiro, K.S., Moreira, R.P.G.; Voltolini, J C., 2007. Biogeografia de ilhas de uma população do cactus *Pilosocereus arrabidae* (Cactaceae) no PEPCV. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2007, Caxambu. Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil. Guarapari, 1 CD-ROM.
- Anderson, E.F. 2001. The cactus family. (Ed. Timbre Press), Oregon,. 777 p.
- Areces, A., 2004. Cactaceae. In Smith, N. Flowering plants of the neotropics. The New York Botanical Garden. (Ed. Princeton University Press), pp. 73 - 76.
- Ayres, M., Ayres Júnior, M., Ayres, D.L., Santos, A.A.S., 2007. BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas. Sociedade Civil Mamirauá, Belém.
- Barbosa, A.S. Estrutura da vegetação e distribuição espacial de Cactaceae em áreas de caatinga do semiárido paraibano. 166f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Paraíba. 2011.
- Barthlott, W., Hunt, D.R., 1993. Cactaceae. Springer-Verlag 2, 161 - 196.
- Behling, H. 1998. Late quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. Review of Paleobotany and Palynology 99, 143 - 156.
- Costa, R.B., Scariott, A., 2003. A fragmentação florestal e os recursos genéticos. In Costa, R. B. da (Org.). Fragmentação Florestal e Alternativas de desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste. Campo Grande, MS.
- Drezner, T.D., 2006. Plant facilitation in extreme environments: the non-random distribution of saguaro cacti (*Carnegiea gigantea*) under their nurse associates and relationship to nurse architecture. Journal of Arid Environments 65, 46 – 61.
- Godínez-Alvarez, H.V.T., Ortega-Baes, P. 2006. Demographic trends in the Cactaceae. Botanical Review 69, 173-203.
- Guerrero, P.C., Durán, P., Walter, H., 2008. Patrones biogeográficos de las cactáceas endémicas de Chile. In Congreso Nacional de Botânica, 59, 2008, Natal. Anais do Congresso Nacional de Botânica. Natal: Imagem Gráfica, 1 CD-ROM.
- Hernández, H.M., Bárcenas, R.T., 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. distribution patterns. Conservation Biology 9, 1176 – 1188.
- Janzen, D.H., 1976. Why bamboos take so long to flower. Annual Review of Ecology and Systematics 7, 347-391.
- Ledru, M.P., Salgado-Labouriau, M.L., Lorscheiter, L., 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr. B. P. Review of Paleobotany and Palynology 99, 131 – 142.
- Lundberg, S., Ingvarsson, P., 1998. Population dynamics of resource limited plants and their pollinators. Theoretical Population Biology 54, 44 – 49.
- Leite, E.J., 2001. Spatial distribution patterns of riverine Forest taxa in Brasília, Brazil. Forest Ecology and Management 140, 257 – 264.
- Machado, E.L.M., Oliveira-Filho, A.T., Berg, E.V.D., Carvalho, W.A.C., Souza, J.S., Marques, J.J.G. S.M., Caleário, N., 2008. Efeito do substrato, bordas e proximidade espacial na estrutura da comunidade arbórea de um fragmento flores em Lavras, MG. Revista Brasileira de Botânica 32, 287 – 302.
- Mourelle, C., Ezcurra, E., 1997. Differentiation diversity of Argentine cacti an its relationship to environmental factors. Journal of Vegetation Science 8, 547-558.

- Muller-Dombois, D., Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley, p. 574.
- Murphy, P.G., Lugo, A.E., 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annals of Review of Ecology and Systematics* 17, 67-88.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review and Systematics* 4, 25 - 51.
- Nyffeler, R., 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family (*Cactaceae*) based on evidence from *trnK/matK* and *trnF* sequences. *American Journal of Botany* 89, 312 – 326.
- Peters E.M., Martorel, C., Ezcurra, E., 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Arid Environments* 72, 593 – 601.
- Pitrez, S.R., 2006. Florística, fitossociologia e citogenética de angiospermas ocorrentes em inselbergues. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.
- Quirino, Z.G.M., 2006. Fenologia, síndromes de polinização e dispersão de recursos florais de uma comunidade de Caatinga no Cariri Paraibano. 128f. (Tese de Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Ramalho, C.I., 2008. Estrutura da vegetação e distribuição espacial do licuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) em dois municípios do centro norte da Bahia, Brasil. 168f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.
- Ribeiro, E.M.S., 2011. Influência de perturbações antrópicas sobre populações de cactáceas em áreas de Caatinga. 55f. Dissertação de Mestrado (Biologia Vegetal) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Rivera-Marchand, B., Ackerman, D., 2006. Bat pollination breakdown in the Caribbean columnar cactus *Pilosocereus royerii*. *Biotropica* 38, 635 – 642.
- Rocha, E.A., Machado, M., Zappi, D.C., 2007. Floral biology of *Pilosocereus tuberculatus* (Werderm.) Byles & Rowley: a bat pollinated cactus endemic from the “Caatinga” in the northeastern Brazil. *Bradleya* 25, 125 – 128.
- Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S., Figueiredo, M.A., 1992. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, p. 24.
- Safford, H.D., 2007. Brazilian Paramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 34, 1701 – 1722.
- Santos, M.R., 2010. Influência de variáveis ambientais e espaciais na distribuição geográfica da família cactaceae no leste do Brasil. 76f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, MG.
- Schlumpberger, B.O., Clery, R.A., Barthlott, W., 2006. A unique cactus with scented and possibly bat-dispersed fruits: *Rhipsalis jegeri*. *Plant Biology* 8, 265 – 270.
- Scolforo, J.R.S., Pulz, F.A.E., Mello, J.M., 1998. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In Scolforo, J.R.S (Org.). Manejo Florestal. UFLA/ FAEPE, Lavras, Brasil, 189-245.
- Souza, V.C., Lorenzi, H., 2005. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira. Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum, p. 639.
- Zappi, D., Taylor, N., 2008. Diversidade e endemismo das Cactaceae na cadeia do Espinhaço. *Rev. Megadiversidade* 4, 1 – 2.
- Zappi, D.C., 1994. *Pilosocereus* (Cactaceae). The genus in Brazil. *Succulent Plant Research* 3: 1-160.

SESIÓN VI: TECNOLOGÍA DE INVERNADEROS

TI01 - Análisis de la tecnología y rentabilidad de los invernaderos de Almería.

Valera, D.L.¹; Belmonte, L.J., Molina-Aiz, F.D., López, A., Camacho, F.

Centro de Investigación BITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento s/n. 04120 Almería (España).¹ dvalera@ual.es.

Resumen

Está perfectamente documentado que los invernaderos de Almería son desde hace décadas el auténtico motor del desarrollo socioeconómico y demográfico de la provincia de Almería. Las producciones y el valor de las mismas reflejan, campaña tras campaña, ser el núcleo central de la economía provincial. Además, tienen un marcado carácter exportador, aportando la mayor cuota al comercio internacional agroalimentario de Andalucía. No obstante, continúa la pérdida de renta de los agricultores debido a que los precios reales percibidos, descontando la inflación, siguen una tendencia estructural descendente. Es por ello de gran utilidad para el sector establecer el nivel tecnológico que permite rentabilizar cada cultivo. El núcleo central de este nuevo enfoque es el cultivo, siendo la tecnología la que se adapta a él. El análisis se ha realizado sobre 685 ha de invernaderos, lo que supone el estudio más amplio que se ha realizado hasta la fecha. Se ha analizado exhaustivamente la evolución tecnológica del sector en los dieciséis últimos años, cuantificando los rendimientos de los principales cultivos, en función de la comarca agrícola y del tipo de invernadero utilizado. También se ha determinado el perfil medio de las diez mejores explotaciones con mayores ingresos brutos estimados de cada una de las comarcas agrícolas de Almería. No menos importante ha sido determinar el perfil medio de las explotaciones con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados. Una de las conclusiones del trabajo es que la mejora de la ventilación natural induce incrementos productivos, sin un coste significativo frente a otros sistemas de control climático. Necesita mejorar, puesto que aunque se ha incrementado en los últimos años sigue siendo deficiente en la actualidad (14,4% en 2013).

Palabras clave: Ventilación natural, control climático, cultivos.

Technological analysis and profitability of the greenhouses of Almería.

Abstract

For several decades Almería's greenhouses have been the driving force behind the region's socioeconomic and demographic development. Evidence of this is provided by crop yield and profitability, whose importance at the core of the province's economy has increased year by year. In addition, this sector is extremely important as a source of exports. However, the growers' income is following a downward trend as a result of the fall in sales revenue when taking into account inflation. It is therefore of interest for the sector to establish the technological level required to allow each crop to be profitable. The starting point for this approach must be the crop, as the technology has to be adapted to suit each one. The analysis undertaken has covered a total of 685 hectares of greenhouses, which constitutes the broadest study undertaken to date. This exhaustive work outlines the sector's technological evolution over the last sixteen years. It quantifies the yield of the main crops according to the farming district and type of greenhouse employed. It also provides the average profile of the ten farms with the highest gross income in each of Almería's farming districts. Equally importantly, it determines the average profile of the farms with the highest yield per campaign, according to the combination of crops and cycles employed. One of the conclusions reached is that natural ventilation leads to higher yield than other climate control systems, at minimum cost. Despite its improvement in recent years (14.4% in 2013), the ventilation capacity of the Almería-type greenhouse is still deficient and therefore requires improvement.

Keywords: Natural ventilation, climate control, crops.

Introducción y Justificación

Los invernaderos de Almería son desde hace medio siglo el auténtico motor del desarrollo socioeconómico y demográfico de la provincia de Almería. Las producciones y el valor de las mismas reflejan, campaña tras campaña, ser el núcleo central de la economía provincial. Además, las 28.576 ha invernadas (CAPMA, 2013) tienen un marcado carácter exportador, aportando la mayor cuota al comercio internacional agroalimentario de Andalucía.

No obstante, continúa la pérdida de renta de los agricultores debido a que los precios reales percibidos, descontando la inflación, siguen una tendencia estructural descendente mantenida en el tiempo. Es por ello de gran utilidad para el sector establecer el nivel tecnológico que hace a cada cultivo más rentable. El núcleo central de este nuevo enfoque es el cultivo, y es la tecnología la que se adapta a él. Claramente la planificación de los cultivos en función de las tendencias de los mercados, juega un papel clave desde el inicio del proceso productivo.

Con este objetivo se ha realizado una muestra a las cuatro comarcas agrícolas de la provincia de Almería: Campo de Dalías, Bajo Andarax, Campo de Níjar y Bajo Almanzora. Se han entrevistado a 212 agricultores y a 18 empresas comercializadoras, obteniendo así una superficie muestreada de 685 ha de invernaderos, un 2,4% del total provincial.

En el estudio la extracción de los datos, tanto cualitativos como cuantitativos, se ha realizado en dos niveles: mediante una encuesta de 108 preguntas a cada uno de los 212 agricultores participantes, y a través de los datos proporcionados mediante una hoja de cálculo que han cumplimentado las 18 empresas comercializadoras que han participado en el estudio.

La gran mayoría de los agricultores pertenecían a las 18 empresas anteriores, para así poder contrastar la información proporcionada. Lo normal ha sido que las empresas nos ponían en contacto con 10 de sus agricultores, y en las sedes de las empresas realizábamos las encuestas. No obstante, se ha establecido un grupo de control de 48 agricultores individuales, no perteneciente a dichas comercializadoras, para así ampliar la validez del muestreo.

De esta manera, los objetivos generales de este estudio podemos resumirlos en:

1. Caracterizar los sistemas de producción en invernadero del campo almeriense.
2. Evaluar los diferentes niveles tecnológicos del Modelo Agrícola de Almería.
3. Extraer datos de rentabilidad económica de las explotaciones.
4. Determinar el perfil medio de la explotación con mayores ingresos medios estimados, por campañas.
5. Establecer el perfil medio de la explotación con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados.

Material y Métodos

Breve reseña histórica

Aunque las primeras referencias de las ventajas que se obtienen de incorporar una capa de arena al suelo son del almeriense Ibn Luyun en su Tratado de Agricultura escrito alrededor de 1348 (Eguaras, 2014), en la horticultura moderna se atribuye el origen del cultivo en suelo arenado a 1880, en la costa granadina, en La Rábita y El Pozuelo pertenecientes al Término Municipal de Albuñol, justo en el límite con la provincia de Almería. De ahí pasó a la zona de Adra y Guardias Viejas, aunque el impulso definitivo fue posterior gracias a las experiencias del Instituto Nacional de Colonización (INC). Varios informes de dicho Instituto, redactados por los Ingenieros Agrónomos Leandro Pérez de los Cobos y Bernabé Aguilar Luque, reflejan las ventajas de la técnica del arenado para paliar la elevada salinidad del agua, al tiempo que mejora la producción y reduce los ciclos de cultivo.

En torno a 1940, agricultores procedentes de La Rábita abancalaron y enarenaron una finca cerca de la playa en la zona de La Romanilla en Roquetas de Mar.

De acuerdo con Rivera (2000) los enarenados no se extendieron hasta que en las parcelas tuteladas por el INC se demostró su rentabilidad, y lo mismo pasó con los invernaderos, para cuya implantación fueron precisas las subvenciones y auxilios del INC, posteriormente denominado IRYDA (Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario). Las primeras 20 ha se entregaron a los colonos en el verano de 1956 y se enarenaron ese mismo año. Se instalaron colonos desde esa fecha hasta principios de la década de 1980.

En 1956, según recogen los informes redactados por el Ingeniero Agrónomo del INC Bernabé Aguilar Luque, los técnicos del INC deciden crear dos unidades piloto de explotación, una sin arena y otra arenada. La que no tiene arena es la parcela 24 del sector regable de Aguadulce, de 3,13 ha y el colono encargado de la parcela bajo las directrices del INC a partir de agosto de ese año es Francisco Fuentes Sánchez, más conocido en la zona como “Paco el piloto”. Los sucesivos ensayos en varios años sobre esta parcela sin arena no fueron muy exitosos. La parcela arenada, de 3,4 ha, fue la número 74; y el colono seleccionado fue Francisco López Fernández, agricultor procedente de Adra, donde había explotado el sistema enarenado en los cuatro años anteriores. Los ensayos con esta técnica fueron muy satisfactorios y se expandió rápidamente por la zona. Los técnicos del INC demostraron su sobrada mentalidad innovadora y a ellos se debe el germen de la explosión de la agricultura intensiva en España.

En 1960, en la misma parcela 24 donde años antes se realizaron ensayos en suelo sin arenar, se realizaron los primeros abrigos de plástico. Se comenzó con acolchados con láminas de polietileno transparente, también se rodearon plantas con polietileno adosándoles una pequeña armadura de alambre, y con pequeños túneles. Todo ello con éxito limitado.

Pero el gran salto se efectuó en 1963, cuando después de los ensayos anteriores, se pensó en disponer una protección de película de polietileno a una estructura sencilla y ligera, como la que se utilizaba para guiar las parras de uva de mesa (Aguilar, 1981). Los padres más claros de esta idea (el invernadero tipo Almería) fueron los Ingenieros

Agrónomos Leandro Pérez de los Cobos y Bernabé Aguilar. Se instaló en la parcela 24 en una superficie de 500 m², una estructura tipo parral a base de rollizos de eucalipto, dejando 100 m² como testigo con arenado al aire libre protegido por setos cortavientos. Para ello se trajo a operarios del INC que estaban trabajando en parrales en el Campo de Níjar (Rivera, 2000). El éxito de la combinación de arenado e invernadero fue tal, que al año siguiente ya se estaban construyendo cuatro nuevos invernaderos para que sirvieran de núcleo de información.

Los resultados de la combinación de arenado e invernadero fueron muy satisfactorios, y han sido el origen del espectacular desarrollo socioeconómico y demográfico que en las últimas décadas ha experimentado Almería.

Los impulsores de la difusión del arenado y del cultivo en invernadero, fueron especialmente los Ingenieros Agrónomos Bernabé Aguilar Luque y Leandro Pérez de los Cobos, de la Delegación en Almería del Instituto Nacional de Colonización; y el también Ingeniero Agrónomo Manuel Mendizábal Villalba, perteneciente a la Jefatura Agronómica de Almería.

Obtención de los datos de campo

La captura de datos de campo ha tenido lugar durante la campaña agrícola 2012/13 y se ha realizado por dos vías. La primera ha sido la realización de un cuestionario de 108 preguntas a 212 agricultores, y la segunda mediante datos procedentes directamente de 18 empresas que comercializan los productos de dichos agricultores, que han facilitado información sobre las últimas 6 campañas (desde 2006/07 hasta 2011/12). El contacto con los agricultores se ha realizado a través de las empresas colaboradoras; excepto para un grupo de control de 48 agricultores, a los cuales hemos accedido directamente para mejorar la bondad de la muestra. Se han estudiado las cuatro comarcas agrícolas de Almería con horticultura intensiva en invernadero: Campo de Dalías, Bajo Andarax, Campo de Níjar y Bajo Almanzora (Fig. 1).

De esta manera la muestra ha sido de 685 ha, que representa el 2.4% del total de superficie de invernaderos de la provincia de Almería, cuantificado en 28.576 ha (CAPMA, 2013).



Figura 1. Superficie muestreada y número de encuestas en cada comarca

Cuestionario a los agricultores

A la hora de construir el cuestionario y con la intención de reflejar las hipótesis de nuestro trabajo, se ha considerado oportuno contar con la colaboración de un grupo asesor. Este grupo asesor ha estado formado por uno o dos agricultores de las comarcas más representativas de la agricultura almeriense, así como por docentes y técnicos relacionados con el sector de la horticultura intensiva. La principal aportación de este grupo se justifica a la hora de matizar y orientar las 108 preguntas el cuestionario, adaptándolas al lenguaje, nivel cultural, edad y aspectos socioeconómicos de los sujetos a encuestar. Además, se ha utilizado a este grupo asesor para sugerir candidatos a ser encuestados, en la fase de muestreo estratificado, de tipo aleatorio.

Las entrevistas a los agricultores las han realizado dos Ingenieros Agrónomos perfectamente conocedores de los criterios homogéneos para cumplimentar la encuesta. De esta manera se evitan las posibles fuentes de error. Cada entrevista, debido a la extensión de la encuesta, ha tenido una duración aproximada de 45 minutos.

A cada entrevistado se le explicó el objetivo del estudio y que pretendíamos caracterizar la explotación con independencia del propietario. Además se le entregó una carta de confidencialidad para remarcar el secreto estadístico, explicando que los datos sólo serían utilizados por agregación y sin referencia individual alguna.

El cuestionario se ha estructurado en 10 apartados que contienen un número variable de respuestas de carácter tanto cuantitativo como cualitativo (Valera *et al.*, 2014). La primera sección, **Datos personales**, consta de 9 preguntas que tratan de obtener información como la edad, años dedicados a la agricultura, régimen de la propiedad, procedencia geográfica del titular, nivel de estudios, si posee otra ocupación laboral o empresarial adicional, la procedencia laboral antes de dedicarse a la agricultura y la situación y superficie exactas de la finca.

Para el grupo de preguntas titulado **Cultivos**, se han elaborado cuestiones para clarificar el modo de combatir las malezas, la siembra, la preparación de la plántula, frecuencia de análisis foliares, cultivos de las últimas tres campañas y épocas, marcos y rendimientos de los mismos, métodos complementarios y sustitutivos de los tratamientos fitosanitarios, polinización y uso de injertos.

El tercer apartado está diseñado para determinar la Maquinaria existente en la explotación, como la utilizada en la aplicación de tratamientos fitosanitarios, vehículos utilizados en la misma o maquinaria utilizada en las labores de preparación del terreno.

En la sección **Suelo** se obtiene su tipo, el uso de análisis de suelo, la desinfección del mismo, tipo y frecuencia del retranqueo así como su coste, cantidad y jornales del mismo, si aporta ácidos húmicos y si se ha planteado cambiar de enarenado a hidropónico, o viceversa.

Para conocer la explotación y sus características más importantes se incluye el apartado **Edificaciones auxiliares/Sistema de riego**, en el que se obtiene la superficie del almacén, caseta de riego y capacidad de la balsa, tipos de filtros utilizados, recogida de pluviales, sistema de riego, análisis del agua, uso de tensiómetros, origen y coste y calidad del agua, y la forma de aplicar abonos.

En la sección denominada **Comercialización** se pretende conocer dónde vende su producción, si es siempre en el mismo sitio, los años de socio en alguna cooperativa, el tipo de asesoramiento recibido, si arregla su producto antes de llevarlo al punto de venta y si está sometido a algún sistema de certificación o norma de buenas prácticas agrícolas en campo.

El apartado más extenso en cuanto a número de preguntas es el titulado **Estructura**, y en él se formulan cuestiones sobre las características del invernadero, de sus elementos estructurales, dimensiones, pasillos, tipos de ventanas, accionamiento de las mismas, dobles puertas, mallas antiinsectos, material de cubierta y procedimiento para su sustitución.

A continuación aparecen las ocho preguntas del apartado **Sistemas de control climático**. En él pretendemos obtener información sobre el uso de controladores climáticos, parámetros medidos, uso de pantallas térmicas y de mallas de sombreo, sistemas de ventilación forzada, técnicas de refrigeración por evaporación de agua, uso y tipo de calefacción, combustibles, técnicas de ahorro energético y otros sistemas avanzados como la inyección de CO₂, iluminación artificial o la cogeneración.

El apartado denominado **Análisis de costes y beneficios** obtiene los intervalos de ingresos y gastos aproximados a lo largo del año o campaña, y preguntas para clarificar cuáles son los cultivos que proporcionan mayores ganancias netas y mayor inversión al comienzo de la campaña, así como las subvenciones y la entidad que le proporciona financiación.

En la sección **Mano de obra** se trata de conocer si la mano de obra es propia o ajena, número de trabajadores y si son fijos, las labores para las cuales contrata mano de obra eventual, y si tiene algún tipo de preferencia para la contratación. Además se trata de conocer también los jornales aproximados que dedica a la explotación de la finca y si la mano de obra correspondiente al propietario está incluida en esos jornales.

Finalmente, y no menos revelador, se ha incluido una pregunta relativa a si tiene pensado a corto plazo realizar **mejoras** en su explotación y de qué tipo. Por último se le ha dado la oportunidad de reflejar **hechos relevantes** en las últimas campañas y si considera que el estudio puede mejorar la rentabilidad de las infraestructuras productivas.

Resultados y Discusión

Para obtener los perfiles medios de las explotaciones más rentables en cada comarca agrícola, se han utilizado los datos de las tres últimas campañas (desde 2010/11 hasta 2012/13) y se ha efectuado la media de las diez mejores explotaciones. Para las preguntas de carácter cualitativo, se ha especificado el número de respuestas de cada tipo.

Para evitar la posible distorsión que sobre la caracterización de las infraestructuras productivas más eficientes, pudiera provocar la efectividad comercial de las empresas que ponen los productos en el mercado (que podría ser otro enfoque del estudio), se ha decidido trabajar además con un patrón homogéneo. Para ello, hemos utilizado los rendimientos (kg m^{-2}) de cada explotación concreta, para cada cultivo, ciclo y campaña; pero considerando los precios medios mensuales de venta en cada periodo concreto de recolección (en función del tipo de cultivo y ciclo), facilitados por el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía. No obstante, no se han observado grandes variaciones entre los ingresos medios brutos declarados por los agricultores y los calculados para sus explotaciones utilizando como patrón homogéneo el Observatorio de Precios y Mercados.

Por otro lado, hemos analizado el perfil de las diez mejores explotaciones según el rendimiento productivo medio obtenido en las tres campañas analizadas. Para ello se ha estudiado independientemente cada una de las doce combinaciones de cultivos, por campaña, que han aparecido con mayor frecuencia en la muestra. A modo de ejemplo, la Tabla 1 muestra el perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en el Campo de Dalías. El resto de combinaciones pueden consultarse en Valera *et al.* (2014).

Tabla 1. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en la comarca Campo de Dalías

PERFIL DEL PRODUCTOR					RENTABILIDAD BRUTA					
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Nivel de estudios	Dedicación a la finca	ESTIMACIÓN Ingreso medio estimado (μ) €/m ²	DATOS DECLARADOS POR EL PRODUCTOR EN LA CAMPAÑA 2012/2013				
					Ingresos medios €/m ²	Gastos corrientes medios €/m ²	Margen bruto €/m ²	¿Percibe alguna subvención?	¿Ha solicitado financiación ajena?	
46	27	Propietario	Básicos	Agricultor a TC	6,91 Ciclos cortos 10,20 Ciclo largo	9,49	6,57	2,92	Sí (6/10) - OPFH	Algo (4/10)
DATOS DE CULTIVOS										
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?		
2010/2011 a 2012/2013	Oroño: Tomate/ P.California/Pepino Primavera: Calabacín/Melón/Sandía Largo: P.Tipo Ratón/Tomate	Ciclos cortos y largo	Oroño: 14,0 Tomate 7,8 P. California / 12,5 Pepino Primavera: 7,5 Calabacín 8,0 Sandía / 5,3 Melón Largo: 18,0 P. Tipo Ratón 18,0 Tomate / 9,0 T. Cherry	Longitudinal (8/10) Perpendicular (2/10)	1,13 Tomate 0,63 Pepino 1,35 Pimiento 0,25 Sandía	Sí, coop.	Lucha integrada	Sí (Tomate y Sandía)		
DATOS DEL SUELO					SISTEMA DE RIEGO					
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?	¿Aporta ácidos húmicos?	% agua de pozo propio	Coste medio total /m ³	Conductividad media total (ds/m)	
Hidropónico (6/10) Arrocado (4/10)	Sí, solarización y desinfección anual	Sí (6/10)	Carillas / Cada 3-4 años	Oveja (4/10) Preparados (2/10)	Sí	Sí (9/10)	0%	0,28	0,96	
DATOS DE COMERCIALIZACIÓN										
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurre a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	% de tiempo de recolección para arreglar el género	Sistemas de certificación		
Cooperativa (8/10) SAT (2/10)	Sí	Sí	Más 10 años	Siempre	Cooperativa	No (8/10)	--	Global Gap, UNE, Naturane y P.L.		
DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO										
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero	Orientación	Superficie (m ²)	Materia de la cubierta	Tipos de apoyos	Altura máxima (cumbra)	Altura mínima (Bajo Canal)			
11	Raspa y amagado (5/10) Asimétrico (2/10) Multitúnel (2/10) Parral Plano (1/10)	Norte a Sur (7/10)	14.242	Plástico Tricapa	Tubo metálico	4,59 (R-A) 4,35 (Asimétrico) 7,65 (Multitúnel) 3,50 (Plano)	3,56 (R-A) 3,50 (Asimétrico) 5,50 (Multitúnel) 3,50 (Plano)			
Tipo de ventana cenital	% de ventanas por capilla	% de superficie con ventilación cenital	Tipo de ventana lateral	Nº ventanas laterales	% de superficie con ventilación lateral	% Ventilación total				
Abatible (5/10) Fijas (2/10) Supercénit (2/10)	62,3%	4,88%	B. deslizantes (4/10) V. poleas (3/10) V. enrollable (2/10)	4 (8/10)	6,52%	11,40%				
SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO										
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?							
No	No	No	No							
					DATOS DE LA MANO DE OBRA					
					¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena			
					Ajena (8/10)	30% eventuales 47% fijos disc.	Recogida			

También se ha determinado el perfil medio de las diez explotaciones que han obtenido mayor rendimiento productivo (kg m⁻²), en función de los cultivos que han utilizado en cada campaña. En todos los casos se han analizado los datos de las tres últimas campañas (desde 2010/11 hasta 2012/13).

El invernadero tipo Almería continúa en este análisis mostrando su buen comportamiento en todas las combinaciones de cultivos. Sólo en los ciclos largos, especialmente los de tomate, adquieren relevancia estructuras de tipo multitúnel; que también aparecen en algunas especialidades como las de pepino, donde a veces se utiliza también calefacción. La Tabla 2 muestra el perfil de la explotación con mejor rendimiento productivo para una campaña agrícola en la que se han cultivado dos ciclos cortos de tomate. El resto de posibles combinaciones pueden consultarse en Valera *et al.* (2014).

Tabla 2. Perfil de la explotación con mejor ingreso bruto estimado en la comarca Campo de Dalías

Perfil de las diez mejores explotaciones, según el rendimiento medio del cultivo

CULTIVO: TOMATE + TOMATE

PERFIL DEL PRODUCTOR				
Edad media	Experiencia	Titularidad de la finca	Nivel de estudios	Dedicación a la finca
62	38	Propietario	Básicos	--

DATOS DE CULTIVOS								
Campañas	Cultivo/s	Ciclo/s	Rendimiento medio (kg/m ²)	Orientación líneas de cultivo	Plantas por m ²	¿Realiza análisis foliares?	¿Utiliza alternativas a fitosanitarios?	¿Utiliza injertos?
2010/2011 a 2012/2013	Otoño: Tomate Primavera: Tomate	2 ciclos cortos	Otoño: 7,75 Primavera: 12,50	Norte-Sur	1,00	Sí, coop.	Lucha integrada	Sí (tomate)

DATOS DEL SUELO						
Tipo de suelo	¿Realiza desinfección del suelo?	¿Realiza retranqueo?	Superficie y frecuencia	Tipo de abono	¿Realiza análisis de suelo?	¿Aporta ácidos húmicos?
Arenado (2/2)	Sí, solarización y desinfección anualmente	Sí (1/2)	Carillas / 3-4 años	Oveja (1/2)	Sí	Sí

Nº	Ubicaciones
0	Bajo Andarax
1	Campo de Dalías
1	Campo de Níjar
0	Bajo Almanzora

SISTEMA DE RIEGO		
% agua de pozo propio	Coste medio total /m ³	Conductividad media total (dS/m)
0%	0,24 €	1,23

DATOS DE COMERCIALIZACIÓN								
¿Dónde vende?	¿Lleva al mismo sitio?	¿Es socio de alguna cooperativa?	¿Años de socio?	¿Recurrir a asesoramiento?	Tipo de asesoramiento	¿Arregla el género usted mismo?	% de tiempo de recolección para arreglar el género	Sistemas de certificación
SAT	Siempre	Sí	Más de 10 años	Siempre	Cooperativa	No (2/2)	--	UNE

DATOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO							
Antigüedad (años)	Tipo de invernadero		Orientación	Superficie (m ²)	Materia de la cubierta	Tipo de apoyos	Altura máxima (cubrería)
19	Raspa y amagado (1/2) Parral Plano (1/2)		Norte a Sur (1/2)	11.800	Plástico Tricapa	Tubo metálico	5,00 (Raspa) 2,60 (Plano)
Tipo de ventana cenital	% de ventanas por capilla	% de superficie con ventilación cenital	Tipo de ventana lateral	Nº ventanas laterales	% de superficie con ventilación lateral	% Ventilación total	Altura mínima (Bajo Canal)
Abatible (1/2) Enrollable (1/2)	47%	7,41%	Bandas deslizantes (10/10)	4	9,00%	16,42%	4,70 (Raspa) 2,60 (Plano)

SISTEMA DE CONTROL CLIMÁTICO			
¿Posee controlador climático?	¿Posee algún sistema de ventilación forzada?	¿Posee algún sistema de refrigeración por evaporación de agua?	¿Sistema de calefacción?
No	No	Sí, nebulización (1/2)	No

DATOS DE LA MANO DE OBRA		
¿Propia o ajena?	¿Vinculación de la mano de obra ajena?	Utilización de la mano de obra ajena
Ajena y propia	36% eventual 64% fijo disc.	Recogida

Conclusiones

Se ha realizado un análisis exhaustivo de la evolución tecnológica del sector en los dieciséis últimos años. Se han cuantificado los rendimientos de los principales cultivos en los invernaderos de Almería, en función de la comarca agrícola y del tipo de invernadero utilizado. Se ha determinado el perfil medio de las diez mejores explotaciones con mayores ingresos brutos estimados de cada una de las comarcas agrícolas de Almería, así como el perfil medio de las mejores explotaciones con mayores rendimientos productivos por campaña, en función de la combinación de cultivos y ciclos utilizados. A partir del análisis anterior, podemos extraer las siguientes conclusiones:

La combinación de invernadero tipo Almería y suelo arenado, continúa después de 50 años gozando de una excelente salud, puesto que es la alternativa que mayoritariamente se ha mostrado más rentable. Sólo en los ciclos largos, especialmente los de tomate, adquieren relevancia estructuras de tipo multitúnel; que también son interesantes en algunas especialidades como las de pepino, donde a veces se utiliza además calefacción.

Los invernaderos de Almería son muy eficientes en el uso de la energía, ya que en ellos se obtienen más kilogramos de frutas y hortalizas por unidad de energía consumida; en comparación con otras zonas de invernaderos muy tecnificados, aunque también con mayores rendimientos por metro cuadrado. Además, las producciones medias en Almería son competitivas frente a otras zonas con invernaderos sin elevada tecnología, especialmente la utilizada para modificar su microclima. El Modelo de Almería es probablemente el más adaptado al nuevo contexto de exigencias de los consumidores

Europeos, que demandan gran calidad en los productos, con el menor coste medioambiental posible.

La gestión de cultivos realizada bajo la mayor implementación tecnológica, no redundan directamente en una mayor productividad comercial y en un superior rendimiento en términos generales, apuntándose el interés de la especialización en determinadas producciones que sí rentabilizan las inversiones efectuadas, así como en la reducción de costes de producción y en una adecuada orientación productiva.

La mejora de la ventilación natural induce incrementos productivos, sin un coste significativo frente a otros sistemas de control climático. La capacidad de ventilación del invernadero tipo Almería es un elemento que necesita mejorar, puesto que aunque se ha incrementado en los últimos años sigue siendo deficiente en la actualidad. La media en 2013 es del 14,4%, lejos del valor mínimo del 30% de superficie de ventanas por superficie del invernadero necesario para una correcta ventilación, o incluso del valor recomendado del 25% en el Reglamento de Producción Integrada.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Cátedra CAJAMAR de Economía y Agroalimentación de la Universidad de Almería, por la financiación de este trabajo de investigación.

Bibliografía

- Aguilar, B. 1981. Diversos tipos de estructuras de los abrigos de la zona del Campo de Dalías (Almería). Comunicación a las Jornadas de los Estudios Internacionales de la Sección Técnica de la Comisión Internacional de Ingeniería Rural. Almería, Febrero de 1981.
- CAPMA, 2013. Cartografía de invernaderos en el litoral de Andalucía Oriental. Campaña 2012. Consejería de Agricultura Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Andalucía (España), 21 pp.
- Eguaras, J. 2014. Ibn Luyun: Tratado de Agricultura. Editorial Universidad de Almería, Almería (España), 302 pp.
- Rivera, J. 2000. La Política de colonización en el Campo de Dalías. Ed. Instituto de Estudios Almerienses y Caja Rural de Almería, Almería (España), 523pp.
- Valera, D.L., Belmonte, L.J., Molina, F.D., López, A. 2014. Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad. Cajamar Caja Rural. 504pp. (Disponible *on line* en <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis-de-su-tecnologia-y-rentabilidad/>).

TI02 - Influencia de diferentes sistemas de calefacción, sobre el desarrollo, producción y calidad de un cultivo de tomate.

Marín, P.¹, Valera, D.L.², Molina-Aiz, F.D.³, López, A.⁴, Moreno, M.A.⁵

Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria BITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento, s/n. 04120 Almería, España. ¹ pmm213@ual.es, ² dvalera@ual.es, ³ fmolina@ual.es, ⁴ alexlopez@ual.es, ⁵ mtm789@ual.es

Resumen

En este trabajo se ha analizado la influencia de dos sistemas de calefacción (por agua caliente y por aire caliente), sobre el desarrollo del cultivo, la calidad de los frutos y la producción, en dos ciclos de otoño-invierno de cultivo de tomate durante las campañas agrícolas 2011/2012 y 2012/2013. Los ensayos se han realizado en tres invernaderos multitúnel y uno tipo Almería, del campo de prácticas de la Universidad de Almería. Se ha utilizado un cultivo de tomate ya que es el más utilizado en la zona, comparando dos sistemas de calefacción frente a ventilación natural. En las dos campañas se midieron los consumos derivados de cada uno de los sistemas empleados. Los resultados muestran que en campañas en las que las temperaturas exponen a los cultivos por debajo de 8°C durante largos periodos de tiempo, sí observamos diferencias en el crecimiento y la producción del cultivo, siendo los resultados favorables a los invernaderos con calefacción, sin existir diferencias entre ellos. Por el contrario, en campañas en las que esta exposición a bajas temperaturas no es prolongada, no se han obtenido resultados favorables a ningún tipo de calefacción. Los consumos en relación con la diferencia de producción, no han justificado el uso de los sistemas de calefacción. En cuanto a los tipos de estructuras estudiados, han existido grandes diferencias en los resultados del análisis de la calidad de los frutos y la producción final, obteniendo una mejor respuesta de estos parámetros en la estructura multitúnel en todos los casos.

Palabras clave: Invernadero, control climático, cultivos.

Influence of different heating systems on the development, production and quality of a tomato crop.

Abstract

It has analyzed the influence of two heating systems (hot water and hot air), on the development, fruit quality and production, in two cycles autumn-winter tomato crop, during agricultural season 2011/2012 and 2012/2013. The tests were carried out in three multitunnel and one Almería greenhouse; in the experimental farm of the University of Almería. We used a tomato crop as it is the most widely used in the area, comparing two heating systems against natural ventilation. In both agricultural season campaigns consumption derived from each of the systems used were measured. The results show that in seasons which the crop was exposed to temperatures below 8 °C for extended periods of time, it has observed differences in growth and crop production, favorable results being heated greenhouses, no differences among them. By contrast, in seasons which this exposure to low temperatures is not extended, no favorable results were obtained. Consumption in relation to the output gap, have not justified the use of any heating system. As for the types of structures studied, there have been major differences in the results of the analysis of the quality of the fruits and the final production, obtaining a better response of these parameters in the multitunnel structure in all cases.

Keywords: Greenhouse, climate control, crops.

Introducción y Justificación

En la zona mediterránea, donde hay una elevada concentración invernaderos, las temperaturas no suelen alcanzar valores mínimos extremos, aunque es común que durante las noches invernales las temperaturas descendan por debajo de los 10°C. A

partir de este valor la mayoría de las especies hortícolas cultivadas en invernadero sufren daños por frío y detiene su desarrollo fisiológico. Para mantener la temperatura interior a niveles confortables para las plantas se utilizan sistemas de calefacción. Las pérdidas de calor dependen de la velocidad del viento, la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, el tipo de cubierta y la superficie y el diseño del invernadero (Valera *et al.*, 2003, 2014). En el cultivo del tomate, la temperatura óptima durante la noche es 13-16 °C y durante el día 22-26 °C, la temperatura mínima biológica se encuentra entre 8 y 10 °C y la temperatura mínima letal es de -2 a 0 °C (Tesi, 2001). Además de la temperatura del aire es importante mantener un adecuado régimen higrométrico para evitar el estrés hídrico provocado cuando su valor desciende demasiado, o la condensación de agua sobre el cultivo o la cubierta del invernadero es excesiva (Valera *et al.*, 2008). La temperatura óptima del sustrato está entre 15 y 20 °C, los niveles óptimos de CO₂ se encuentran entre 1000 y 2000 ppm y la humedad relativa entre el 55 y el 60 % (Tesi, 2001). Según Bartanzas *et al.*, (2005), el uso combinado de un sistema de calefacción por tuberías de plástico de agua caliente y de un sistema de generadores de aire caliente, disminuye la condensación generada en la cubierta interior del invernadero, pero aumenta el consumo de energía en un 19%. Una estrategia de ahorro energético en invernaderos mediterráneos con calefacción de tipo radiante (por agua caliente) en climas templados, es apagar o bajar la temperatura de consigna de la calefacción en la madrugada (Perdigones *et al.*, 2006). Según Perdigones *et al.*, (2006), en invernaderos mediterráneos, el uso de dos o tres grupos de generadores de aire caliente mejora la eficiencia térmica del invernadero (4% a 10% de ahorro de energía), y da lugar a un menor número de variaciones de temperatura, en comparación con el uso de un único grupo para una misma potencia final. Además se produce un exceso de calor en la primera parte de la noche que provoca un desperdicio de energía. Un método de ahorro de energía sería el control de paso de los calentadores. Las simulaciones muestran que este tipo de control siempre mejora el rendimiento térmico de los invernaderos, en términos de ahorro de energía y exceso. El uso de la calefacción en los invernaderos tiene un efecto importante en el rendimiento, así como en la calidad y el tiempo de cultivo de los productos. Debido al costo relativamente alto y la disponibilidad incierta de los combustibles fósiles, se genera especial atención en nuevas fuentes de energía y en energías renovables, como medio alternativo para la calefacción de los invernaderos (Bascetincelik *et al.*, 1999).

El objetivo de este ensayo es determinar si dos sistemas de calefacción, uno por aire y otro por agua; dos tipos de mallas anti-insectos y el tipo de estructura, multitúnel y raspa y amagado, afectan al crecimiento y desarrollo de la planta y a la calidad de los frutos en un cultivo de tomate.

Material y Métodos

Los invernaderos se encuentran situados en la parte norte del Campo de Prácticas de la Universidad de Almería “Catedrático Eduardo Fernández” de la Fundación UAL-ANECOOP, siendo su situación: Longitud: 2° 17' O, Latitud: 36° 51' N y Altitud: 90 m. Los ensayos se realizarán en cuatro invernaderos, tres de los invernaderos son tipo “multitúnel” y el cuarto invernadero es tipo “raspa y amagado”. Dos de los invernaderos multitúnel están constituidos por tres módulos de 8 m de anchura con ventanas cenitales en todos ellos. En el denominado como U11 hay ventanas laterales en los costados Norte y Sur y tiene una superficie de ventilación de 18.6%, en el invernadero

denominado U9 no existen ventanas laterales y tiene una superficie de ventilación de 10.8%. Las dimensiones de estos dos invernaderos son de 24×45 m (1080 m²). El tercer invernadero, denominado U12, tiene una longitud similar de 45 m, pero su anchura es algo menor (18 m), al estar constituido por dos módulos de 9 m (810 m²). En este invernadero hay dos ventanas cenitales y dos laterales (una en el costado Norte y otra en el Sur) y tiene una superficie de ventilación de 19.3%. El cuarto invernadero, denominado U8, (tipo “raspa y amagado”) es contiguo a éstos y tiene unas dimensiones de 45×47 m (2115 m²), está compuesto en todo su perímetro por ventanas laterales y tres ventanas cenitales y tiene una superficie de ventilación de 16.8%.

El invernadero U9 dispone de un sistema de calefacción por aire, el invernadero U11 dispone de un sistema de calefacción por agua. El sistema de calefacción por agua está formado por una caldera de biomasa BIOSELECT350 (LASIAN Tecnología del Calor S.L.) con una potencia de 350 kW y un rendimiento del 91%, permite trabajar con un salto térmico de hasta 15°C con respecto a la temperatura exterior; según los cálculos realizados para esos invernaderos concretos con sus condicionantes geométricos, climáticos y características particulares. Durante los ensayos el combustible utilizado fue hueso de aceituna. El sistema de calefacción por aire consta de dos generadores de aire caliente por combustión indirecta GP80 (Munters Spain S.A.) de 99 kW de potencia nominal con un rendimiento térmico del 88.5% y un caudal de aire de 5800 m³ h⁻¹. Los calefactores funcionan con quemadores de gasoil RG2 Gulliver (Riello S.p.A.) con caudal variable de 4 a 10 kg h⁻¹ (de 47 a 119 kW).

Cada invernadero multitúnel se encuentra dividido por la mitad, constituyendo cada mitad de invernadero una subparcela de los ensayos. En el lado Este de los tres invernaderos se colocaron, en las aberturas de ventilación lateral y cenital, mallas de 10×20 hilos/cm² y una porosidad del 35.0% actuando como testigo (T₀) y en el lado Oeste se colocaron mallas experimentales de 13×30 hilos/cm² y una porosidad del 26.3% (T₁), quedando finalmente siete parcelas de experimentación como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Ensayos realizados en cada parcela de experimentación.

Parcela	Sistema de calefacción	Malla	Estructura
U9-E	CA	T ₀	M
U9-O	CA	T ₁	M
U11-E	CB	T ₀	M
U11-O	CB	T ₁	M
U12-E	VN	T ₀	M
U12-O	VN	T ₁	M
U8*	VN	T ₀	R

*Durante la campaña 2012-13. Abreviaturas: VN: ventilación natural; CB: calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta; T₀: Malla testigo de 10×20 hilos/cm²; T₁: Malla experimental de 13×30 hilos/cm²; M: Invernadero tipo multitúnel; R: Invernadero tipo raspa y amagado.

Las actividades asociadas al manejo del cultivo en el transcurso de su desarrollo vegetativo y cosecha, tienen como propósito principal conseguir los máximos rendimientos, y fueron todos realizados por igual en las distintas parcelas. La calefacción funcionó durante la noche con una temperatura de consigna en el interior de los invernaderos de 8°C. La medida de los parámetros climáticos en el exterior se

realiza mediante una estación meteorológica fija colocada a 10 m de altura y 15 m de distancia del lateral norte del invernadero. El registro de datos de los sensores instalados en la estación se realizará mediante un controlador de clima MultiMa (Hortimax S.L., El Ejido). En el interior de las parcelas se dispone de cajas de medida Ektron-II-C (Hortimax S.L.). En cada caja hay instalada una sonda Pt-100 con una precisión de $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ (intervalo de medida: -10°C a 60°C).

Para la evaluación del desarrollo del cultivo se eligieron tres líneas al azar en cada parcela y cuatro plantas por línea, haciéndose el seguimiento de 12 plantas por parcela y 84 plantas en total cada 15 días. Los parámetros medidos para la evaluación del desarrollo de la planta se han realizado con ayuda de una cinta métrica y un calibre digital 150 mm (Medid Precision, S.A., España) y han sido:

- Distancia del último entrenudo al suelo, considerando como último entrenudo el que presenta la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica.
- Distancia del último entrenudo al meristemo apical de la planta.
- Promedio de los dos entrenudos inferiores a la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica.
- Entrenudo inmediato superior a la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica.
- Diámetro del tallo.
- Número de nudos por debajo de la última hoja que ha alcanzado la madurez fisiológica en el momento de la medida.
- Relación de parámetros calculados: El incremento del tallo cada 15 días (Δ) se calculó mediante la diferencia entre distancia del último entrenudo al suelo cada 15 días. La longitud total de la planta se calculó de acuerdo con la expresión $LP = \text{Distancia del último entrenudo al suelo} + \text{Distancia del último entrenudo al meristemo apical de la planta}$.

Para la evaluación de la calidad de la producción se eligieron dos líneas al azar en cada parcela de experimentación y de ellas se seleccionaron 20 frutos para su evaluación, analizando 140 frutos en total. Estos parámetros se midieron cada 7 días. Los parámetros medidos y sus correspondientes instrumentos de medida fueron los siguientes:

- Peso: Balanza electrónica PB3002-L DeltaRange® (Mettler Toledo, S.A., España), con capacidad máxima 600 g / 3100 g y sensibilidad 0,01 g / 0,1 g.
- Diámetro ecuatorial. Calibre digital 150 mm (Medid Precision, S.A., España).
- Sólidos Solubles. ($^{\circ}\text{Brix}$): Refractómetro PAL-1 (Atago Co., LTD., Japan), rango de medida de 0,0 a 53,0%, resolución 0,1%, error $\pm 0,2\%$ a temperatura ambiente desde 10 a 40°C .
- Acidez de fruto (pH): Multímetro portátil MM 40 (Crison Instruments S.A., España), resolución 0,01 y error $\leq 0,01$.
- Firmeza. Penetrómetro digital PCE-FM 200 (PCE-Ibérica S.L., España), resolución: 10 g / 0,05 N y precisión: $\pm 0,5\%$, + 2 dgt.
- Materia seca: Balanza electrónica PB3002-L DeltaRange® (Mettler Toledo, S.A., España), con capacidad máxima 600 g / 3100 g y sensibilidad 0,01 g / 0,1 g y estufa de secado y tratamiento térmico 300°C , 23 - 240 l, FD series.

Para la evaluación de la producción se pesó la producción total para las líneas consideradas en cada invernadero, con una balanza electrónica EKS Premium (E.K.S. Spain, S.A., España), de sensibilidad 10 g y capacidad máxima de 40 kg. Diferenciando producción comercial y producción no comercial.

En cuanto al consumo de combustible de la calefacción por aire (gasoil), se contabilizará diariamente mediante la observación directa en el indicador del tanque; el consumo de biomasa (hueso de aceituna) se contabilizará mediante el seguimiento de los kilogramos que se van añadiendo al silo. Este consumo se relacionará con el tiempo de funcionamiento de la calefacción en el caso de los calefactores y el tiempo de funcionamiento de la caldera en el caso de la biomasa.

El consumo eléctrico se medirá mediante contadores eléctricos distribuidos de manera que abarquen cada elemento, quedando un contador monofásico de energía eléctrica de clase 1 para redes de baja tensión con visualizador digital, modelo MK-30-LCD-RS485 (Circutor, S.A., España) y cinco contadores trifásicos de energía EDMk (Circutor, S.A., España).

Resultados y Discusión

Campaña 2011-12 (Alta demanda de calefacción)

Según los distintos parámetros de crecimiento de la planta medidos y analizados en esta campaña, que podemos ver resumidos en la Tabla 2, se ha observado un tallo más corto y un crecimiento más lento del cultivo en el invernadero sin sistema de calefacción, a pesar de desarrollar mayor diámetro del tallo y existiendo diferencias estadísticamente significativas entre éste y los invernaderos con calefacción. Entre los dos sistemas de calefacción estudiados no han existido diferencias estadísticamente significativas. Comparando las dos mallas analizadas en cada invernadero vemos que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre sectores de un mismo invernadero en cada parámetro medido. Sin embargo se detecta una suave tendencia durante todo el cultivo a producirse un mayor crecimiento del tallo en los sectores oeste de los tres invernaderos con la malla experimental.

Tabla 2: Parámetros medios de crecimiento del cultivo medidos en la campaña 2011-12. DT: diámetro del tallo [mm]. ΔT : incremento medio del tallo cada 15 días [cm]. D1: distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera [cm]. D2: distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera [cm]. NN: número de nudos.

Parcela	DT	ΔT	D1	D2	NN
U9-E	13.92 a	35.57 ab	9.17 ab	8.46 ab	20.57 a
U9-O	14.08 a	37.36 ab	9.06 ab	8.84 b	20.60 a
U11-E	14.57 a	38.86 b	9.46 b	8.89 b	20.57 a
U11-O	14.39 a	39.32 b	9.53 b	8.79 b	20.62 a
U12-E	15.80 b	32.99 a	8.99 ab	7.80 a	20.08 a
U12-O	15.71 b	34.68 ab	8.72 a	8.08 a	19.99 a

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa.

En la Tabla 3 podemos ver los resultados para los parámetros de calidad de los frutos. Comparando los sistemas de calefacción, en ambos sectores, hemos obtenido resultados similares. En general podemos decir que se han desarrollado frutos más grandes, más pesados y con mayor firmeza en el invernadero sin sistema de calefacción

y frutos con mayores niveles de °Brix en el invernadero con calefacción por aire caliente. Las diferencias estadísticamente significativas más importantes se han detectado entre el invernadero con calefacción por aire caliente y el invernadero sin calefacción. Comparando las dos mallas analizadas en cada invernadero, de forma general, vemos que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre sectores de un mismo invernadero en cada parámetro medido.

Tabla 3: Parámetros medios de calidad del fruto medidos en la campaña 2011-12. P: peso del fruto [g]. MS: materia seca [%]. D: diámetro del fruto [mm]. F: firmeza [kg]. °Brix: contenido en sólidos solubles [%] pH: acidez del fruto.

Parcela	P	MS	D	F	°Brix	pH
U9-E	112.88 ab	6.05 c	63.16 b	1.78 bc	5.37 b	4.15 ab
U9-O	105.04 a	5.90 b	61.37 a	1.62 a	5.34 b	4.18 b
U11-E	115.75 bc	5.64 a	63.56 b	1.69 ab	5.00 a	4.13 a
U11-O	109.29 ab	5.72 a	62.11 ab	1.39 a	5.12 a	4.13 a
U12-E	121.05 c	5.88 b	64.91 c	2.05 c	5.06 a	4.16 ab
U12-O	115.78 bc	5.46 a	63.59 b	1.70 bc	4.87 a	4.15 ab

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa.

En cuanto a la producción obtenida en cada uno de los diferentes invernaderos podemos observar como en los dos invernaderos con calefacción, la producción ha estado por encima de la del invernadero sin calefacción. De los dos sistemas de calefacción estudiados, es en el de agua caliente en el que obtenemos mejores resultados. Comparando las mallas no encontramos diferencias comunes entre sectores.

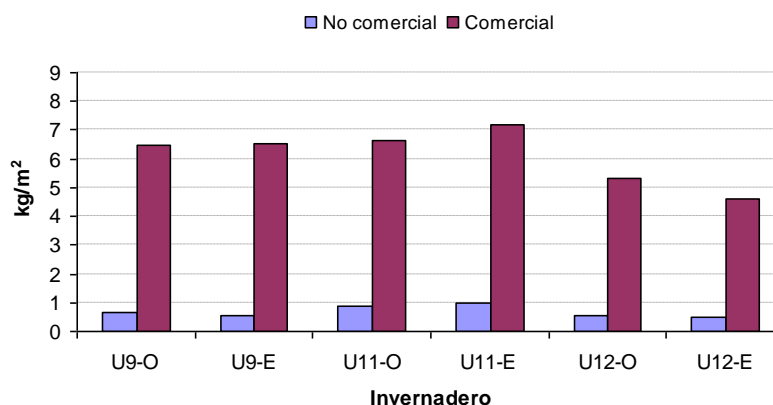


Gráfico 1: Producción obtenida durante la campaña 2011-12.

El consumo total de combustible fue de 1400 L de gasoil y en el caso de la calefacción por agua de 20 toneladas de biomasa. Como podemos ver en la Tabla 4, el presupuesto necesario de biomasa casi ha doblado el presupuesto de gasoil. Esto es debido a que es necesaria más cantidad de biomasa, pues el funcionamiento de la caldera es continuo durante todo el día y toda la noche durante los cuatro meses de ensayo, se intentó paliar esta situación mediante la variación de la consignas durante el día y la noche, ya que es menos probable la demanda de calor durante las horas centrales del día, no obstante existe una gran diferencia entre ambos sistemas.

Tabla 4: Fechas de suministro de combustible, precio y cantidad durante la campaña 2011-12.

Fecha suministro Gasoil	Precio (€/L)	Cantidad (L)	Total (€)	Fecha suministro Biomasa	Cantidad (t)	Total (€)
22/11/2011	1.03	961	989.83	21/11/2011	3	750.48
14/02/2012	1.06	500	530.00	05/01/2011	10	1813.54
				06/02/2012	10	1652.00
TOTAL (I.V.A. incluido)			1519.83	TOTAL (I.V.A. incluido)		4216.02

Además del consumo de combustible, se contabilizó el consumo eléctrico de cada uno de los elementos necesarios para cada sistema de calefacción (Tabla 5), observándose una mayor demanda energética en el invernadero con calefacción por agua caliente y una demanda muy baja en el invernadero con ventilación natural.

Tabla 5: Consumo eléctrico durante el periodo de ensayos 2011-12. Valores en kWh.

	U11			U9			U12
	Caldera	Ventanas	Total	Calefactores	Ventanas	Total	Ventanas
Total	5126.75	255.56	5382.31	649.78	379.51	1029.29	133.93

* Además de estos consumos, tenemos que añadir la parte proporcional a cada sistema del consumo eléctrico del controlador climático que durante este periodo de ensayos ha sido de 363.3 kWh.

Campaña 2012-13 (Baja demanda de calefacción)

Según los distintos parámetros medidos y analizados en esta campaña que podemos ver resumidos en la siguiente tabla, se ha observado mayor crecimiento del tallo en el invernadero con sistema de calefacción por aire caliente, seguido por el invernadero con calefacción por agua caliente y existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tres. En el resto de parámetros no han existido diferencias entre tratamientos. Comparando las dos mallas analizadas en cada invernadero, vemos que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre sectores de un mismo invernadero en cada parámetro medido. En cuanto a los dos tipos de estructuras estudiadas, sólo encontramos diferencias en la distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera, siendo esta favorable a la estructura multitúnel y un mayor número de nudos en el invernadero raspa y amagado.

Tabla 6: Parámetros medios de crecimiento del cultivo medidos en la campaña 2012-13. DT: diámetro del tallo [mm]. ΔT : incremento medio del tallo cada 15 días [cm]. D1: distancia media de entrenudos por debajo de la última hoja verdadera [cm]. D2: distancia media de entrenudos por encima de la última hoja verdadera [cm]. NN: número de nudos.

Parcela	DT	ΔT	D1	D2	NN
U9-E	9.46 a	24.77 ab	10.17 d	7.17 a	14.86 a
U9-O	9.40 a	23.86 ab	10.73 d	8.27 ab	15.17 b
U11-E	9.38 a	22.54 ab	10.33 c	7.65 b	14.24 a
U11-O	9.30 a	21.98 a	10.49 c	7.65 b	13.99 ab
U12-E	9.40 a	20.99 ab	9.60 b	6.55 a	13.70 ab
U12-O	9.50 a	21.80 ab	8.83 b	6.97 b	14.98 b
U8	9.40 a	22.44 b	8.46 a	6.74 a	18.92 c

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa.

En la siguiente tabla podemos ver los resultados para los parámetros de calidad de los frutos. Comparando los sistemas de calefacción, en ambos sectores, hemos obtenido resultados similares. En general podemos decir que se han desarrollado frutos más grandes y con mayor firmeza en el invernadero U12 sin sistema de calefacción. Las diferencias estadísticamente significativas más importantes se han detectado entre el invernadero con calefacción por aire caliente y el invernadero sin calefacción. Comparando las dos mallas analizadas en cada invernadero, vemos que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre sectores de un mismo invernadero en cada parámetro medido. En cuanto a los dos tipos de estructuras estudiadas encontramos diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros medidos, siendo estas diferencias favorables al invernadero tipo multitúnel.

Tabla 7: Parámetros medios de calidad del fruto medidos en la campaña 2012-13. P: peso del fruto [g]. MS: materia seca [%]. D: diámetro del fruto [mm]. F: firmeza [kg]. °Brix: contenido en sólidos solubles [%] pH: acidez del fruto.

Parcela	P	MS	D	F	°Brix	pH
U9-E	98.52 b	7.44 c	58.03 bc	3.11 ab	5.00 b	4.19 c
U9-O	96.05 ab	7.46 c	57.18 ab	3.24 b	5.03 b	4.19 c
U11-E	99.71 b	7.13 b	58.38 bc	2.97 a	4.81 b	4.21 c
U11-O	97.01 ab	7.20 b	57.96 abc	2.93 a	4.85 b	4.17 b
U12-E	100.75 b	7.09 b	59.01 c	3.40 c	4.89 b	4.13 b
U12-O	99.14 b	7.07 b	58.54 c	3.26 bc	5.04 b	4.13 b
U8	94.27 a	6.51 a	56.97 a	3.01 a	4.49 a	4.10 a

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa.

En cuanto a la producción obtenida en cada uno de los diferentes invernaderos, se puede observar como en los dos invernaderos con calefacción, la producción ha estado por debajo de la del invernadero sin calefacción. Entre los dos sistemas de calefacción no han existido diferencias. Comparando las mallas, vemos en todos los invernaderos, mayor producción en los sectores este, siendo esta diferencia mayor en los invernaderos con calefacción. En cuanto a las estructuras estudiadas, comparando el invernadero U12-E, con estructura multitúnel, la malla testigo y sin sistema de calefacción y el invernadero U8, con las mismas características pero en este caso con estructura raspa y amagado, observamos diferencias de 1.67 kg m^{-2} .

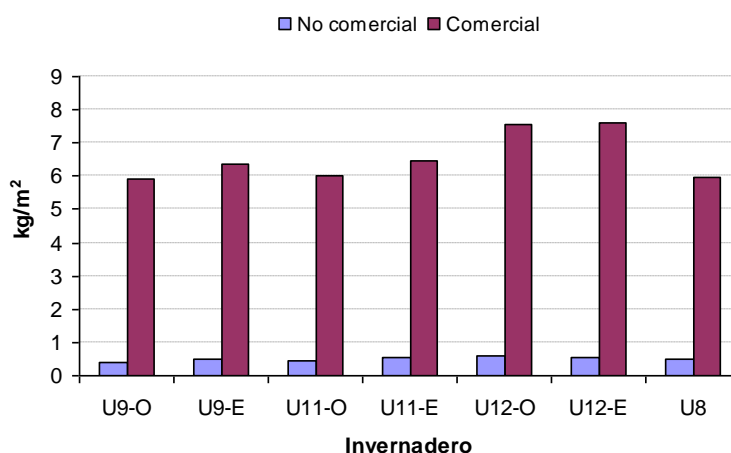


Gráfico 2: Producción obtenida durante la campaña 2012-13.

En cuanto al consumo asociado a cada sistema de calefacción ha sido de 525 L de gasoil en el caso de la calefacción por aire y en el caso de la calefacción por agua de 18 toneladas de biomasa. En la siguiente tabla se presentan los precios de los combustibles en esta campaña.

Tabla 8: Fechas de suministro de combustible, precio y cantidad durante la campaña 2012-13.

Fecha suministro Gasoil	Precio (€/L)	Cantidad (L)	Total (€)	Fecha suministro Biomasa	Cantidad (t)	Total (€)
04/12/2012	1.08	1000	1080.00	08/11/2012	20	3630.00
TOTAL (I.V.A. incluido)			1080.00	TOTAL (I.V.A. incluido)		3630.00

Además del consumo de combustible, se contabilizó el consumo eléctrico de cada uno de los elementos necesarios para cada sistema de calefacción (Tabla 5), observándose una mayor demanda energética en el invernadero con calefacción por agua caliente y una demanda muy baja, en comparación con esta última, tanto en el invernadero con calefacción por aire caliente como en el invernadero con ventilación natural.

Tabla 9: Consumo eléctrico durante el periodo de ensayos 2012-13. Valores en kWh.

	U11			U9			U12
	Caldera	Ventanas	Total	Calefactores	Ventanas	Total	Ventanas
Total	4101.89	338.66	4440.55	151.88	261.94	413.82	263.90

* Además de estos consumos, tenemos que añadir la parte proporcional a cada sistema del consumo eléctrico del controlador climático que durante este periodo de ensayos ha sido de 836.90 kWh.

Análisis final

De forma general, se ha observado en las dos campañas un crecimiento más lento del cultivo en el invernadero sin sistema de calefacción. Comparando los dos sistemas de calefacción estudiados, en la primera campaña no existieron diferencias y en la segunda se produjo mayor crecimiento del cultivo en el invernadero con calefacción por aire caliente. Los frutos más grandes y firmes, en las dos campañas, se han dado en el invernadero sin sistema de calefacción, el resto de parámetros ha variado entre campañas, no obstante las mayores diferencias se han encontrado entre el invernadero sin sistema de calefacción y el invernadero con calefacción por aire caliente. Los frutos desarrollados en el invernadero con calefacción por agua caliente han obtenido valores más intermedios y homogéneos. En cuanto a la producción se han obtenido valores diferentes en las dos campañas estudiadas, en la primera campaña la producción fue superior en los invernaderos con calefacción, por el contrario en la segunda campaña estos invernaderos obtuvieron producciones menores con respecto a la campaña anterior y con respecto al invernadero sin calefacción, donde se han obtenido los mayores valores.

La planta ha tenido un desarrollo, en general, similar en los dos tipos de estructuras sin sistema de calefacción. En el análisis de la calidad de los frutos y la producción final es donde han aparecido grandes diferencias, siendo los resultados favorables a la estructura multitúnel en todos los casos.

En el consumo de gasoil han existido diferencias importantes en las dos campañas estudiadas, debiéndose esto principalmente a la diferencia climática desarrollada en los

dos periodos. Este hecho queda reflejado en la diferencia de número de horas en que las plantas han estado expuestas a temperaturas inferiores a 8°C (mínima biológica según Tesi, 2001) y a temperaturas inferiores a 0°C (mínima letal según Tesi, 2001). Podemos observar en la tabla 10 las horas totales a las que el cultivo ha estado expuesto a temperaturas extremas durante las dos campañas, en el invernadero en el que no se ha alterado el clima. Como se observa en la Tabla 10, en la campaña 2011-12 la exposición a estas temperaturas ha sido superior que durante la campaña 2012-13. Este hecho no sólo justifica el mayor consumo de combustible durante la primera campaña, sino que explica en cierta medida los diferentes resultados obtenidos para la producción en cada campaña. Durante la campaña 2011-12 las temperaturas registradas en el invernadero sin calefacción han sido dañinas para el cultivo, como consecuencia se ha detectado un crecimiento más lento de la planta y menores producciones, en comparación con los invernaderos con calefacción. Durante la campaña 2012-13, las temperaturas registradas en el invernadero sin calefacción no han sido tan problemáticas para el cultivo y no se han alejado tanto de las temperaturas obtenidas en los invernaderos con calefacción, esto junto con la mejor ventilación del invernadero han tenido como consecuencia unos resultados favorables en la producción obtenida en el invernadero sin sistema de calefacción. El consumo de biomasa en ambas campañas ha sido similar ya que el funcionamiento de la caldera es continuo.

Tabla 10: Número de horas totales por debajo de 8, 5 y 0°C en el invernadero U12 (sin calefacción).

Campaña 2011-12			Campaña 2012-13		
< 8°C	< 5°C	<0°C	< 8°C	< 5°C	<0°C
407 h	115 h	0 h	285 h	20 h	0 h

Conclusiones

En los ciclos de cultivo en los que debido a unas condiciones climáticas más adversas se expone a los cultivos a temperaturas por debajo de 8°C durante largos periodos de tiempo, sí se observan diferencias en el crecimiento y la producción del cultivo; siendo los resultados favorables a los invernaderos con calefacción. Por el contrario, en campañas en las que esta exposición a bajas temperaturas no es prolongada, no se han obtenido resultados favorables a ningún tipo de calefacción. Por otro lado, los consumos de combustible en relación con la diferencia de producción, no han justificado en ningún caso el uso de sistemas de calefacción activa.

No han existido diferencias relevantes entre los dos sistemas de calefacción estudiados en ninguno de los parámetros de crecimiento y calidad estudiados en las dos campañas.

En cuanto a las mallas estudiadas no han existido diferencias importantes entre ellas en ninguno de los parámetros medidos en las dos campañas evaluadas.

Estudiando los tipos de estructuras, ambas con ventilación natural, han existido grandes diferencias en los resultados del análisis de la calidad de los frutos y la producción final, obteniendo una mejor respuesta de estos parámetros en la estructura tipo multitúnel en todos los casos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación BITAL y al Grupo de Investigación Ingeniería Rural, por el apoyo prestado para el desarrollo de la experimentación.

Bibliografía

- Bartzanas, T., Tchamitchian, M., and Kittas, C., 2005. Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering*. 91 (4), 487–499.
- Bascetincelik, A., Ozturk, H.H., Paksoy, H.O., and Demirel, Y., 1999. Energetic and exergetic efficiency of latent heat storage system for greenhouse heating. *Renewable Energy*. 16, 691-694.
- Perdigones, A., García, J.L., Pastor, M., Benavente, R.M., Luna, L., Chaya, C., and de la Plaza S., 2006. Effect of heating control strategies on greenhouse energy efficiency: experimental results and modeling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 49(1), 143–155.
- Tesi, R., 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. Ed: Mundi-Prensa, 288 pp. Madrid.
- Valera, D.L., Belmonte, L.J., Molina, F.D., López, A. 2014. Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad. Cajamar Caja Rural. 504pp. (Disponible *on line* en <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis-de-su-tecnologia-y-rentabilidad/>).
- Valera, D.L., Peña, A., Pérez, J., Álvarez, A., Molina, F. y López-Gálvez, J., 2003. Tenso-estructuras como sistemas de protección de cultivos: el invernadero tipo “Almería”. En: *Control Climático en Invernaderos*. Editorial Universidad de Almería.
- Valera, D.L., Molina, F., y Álvarez, A., 2008. Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos. En: *Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura*. Ed. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 66pp. Madrid.

Tl03 - Análisis de la transmisividad de la cubierta de un invernadero mediterráneo con diferentes “Protectores Solares Agrícolas” (blanqueo).

López A.¹; Valera, D.L., Molina-Aiz, F.D., Moreno, M.A., Marín, P.

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria BITAL. Universidad de Almería, Ctra. de Sacramento s/n, 04120, Almería, e-mail: alexlopez@ual.es

Resumen

Se ha analizado el microclima en un invernadero mediterráneo (multitúnel, con tres ventanas cenitales y sin cultivo) dividido en dos sectores independientes (sector 1 de 25x24 m² y sector 2 de 20x24 m²). En las ventanas se instaló una malla anti-insectos de 10x20 hilos cm⁻² (porosidad 36.0%). En el exterior y en el interior de cada sector se midieron: temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar y radiación PAR. La toma de datos se realizó entre julio y octubre de 2014. El sector 1 actuaba como testigo sin blanquear. En el sector 2 se aplicaron cuatro PSA (*Protector Solar Agrícola*) comerciales: el tradicional *Blanco España* (PSA_{BE}) y tres productos que incorporan adhesivos en sus componentes: *Flex* (PSA_F), *SuperFlex* (PSA_{SF}) y *Especial Pimiento* (PSA_{SP}). Para cada producto se ensayaron tres concentraciones [kg producto / l de agua aplicada]: 25/200, 25/100 y 50/100; añadiendo una cuarta concentración, 25/300, para PSA_{BE}. Se consumen aproximadamente 0.1 l de mezcla por m² de superficie invernada. Para cada dosis y cada producto, la toma de datos se realizó durante 3 días completos. Se ha determinado la influencia del producto tradicional PSA_{BE} en la transmisividad de la cubierta en dos periodos: julio-agosto y septiembre-octubre, siendo el efecto del producto mayor en julio-agosto. También se presentan datos que muestran las variaciones del comportamiento de este producto tradicional en días muy nublados y con lluvia ocasional. Para la concentración que recomienda el fabricante de los productos en la región (25/100; 25 g de CaCO₃ por m²) se ha determinado (entre las 12:00 y las 16:00 horas) la transmisividad media de la cubierta y el porcentaje respecto al sector testigo (sin PSA): 0.37 (56%) en julio-agosto y 0.48 (68%) en septiembre-octubre para el producto PSA_{BE}, 0.53 (77%) para PSA_F, 0.40 (58%) para PSA_{SF} y 0.48 (66%) para PSA_{SP}.

Palabras clave: Control climático, radiación solar, protección.

Analysis of the cover transmissivity in a Mediterranean greenhouse with different “Agricola Solar Protector” (whitening).

Abstract

We analyzed the microclimate in a Mediterranean greenhouse (multi-span, with three roof vents and uncultivated) divided into two independent sectors (sector 1 of 25x24 m² and sector 2 of 20x24 m²). A 10x20 threads cm⁻² insect-proof screen (porosity 0.36) was placed on the vents. Outside and inside of each sector were measured: air temperature and humidity, solar radiation and PAR radiation. The experimental measurements were carried out between July and October 2014. Sector 1 was the control, no whitening, with cover without ASP (*Agricola Solar Protector*). In sector 2, the cover was whitened with the traditional product *White-Spain* (ASP_{BE}) and three commercial products that incorporating adhesives into its components: *Flex* (ASP_F), *SuperFlex* (ASP_{SF}) and *Special Pepper* (ASP_{SP}). For each product three concentrations [kg product / l of water applied] were tested: 25/200, 25/100 and 50/100; adding a fourth concentration, 25/300, for the product ASP_{BE}. Approximately 0.1 l mixture consumed per m² of ground are of the greenhouse. For each concentration and each product, experimental measurements were carried out for 3 full days. We have determined the influence of traditional product ASP_{BE} in the cover transmissivity into two periods: July-August and September-October, the effect of ASP_{BE} was higher in July-August. Data showed changes in the behavior of ASP_{BE} in very cloudy days with occasional rain are also presented. For the concentration recommended by the manufacturer of the products in the region (25/100; 25 g of CaCO₃ per m²) has determined (between 12:00 and 16:00 horas) the average cover transmissivity and the percentage respect the control sector (without ASP): 0.37 (56%) in July-August and 0.48 (68%) in September-October for ASP_{BE}, 0.53 (77%) for ASP_F, 0.40 (58%) for ASP_{SF} and 0.48 (66%) for ASP_{SP}.

Keywords: Climate control, solar radiation, protection.

Introducción y/o Justificación

El éxito de los invernaderos mediterráneos, más en concreto los de la provincia de Almería, se basa en contar con estructuras de bajo coste que gracias al clima cálido del mediterráneo consiguen producciones relativamente altas. La mayoría de los invernaderos existentes en Almería recurren al uso exclusivo de la ventilación natural y de la técnica del blanqueo de la cubierta como sistemas de control climático (Valera *et al.*, 2014). Esto implica que la inversión en tecnología avanzada de control climático sea muy baja. El control del microclima en los invernaderos almerienses se realiza principalmente mediante ventanas laterales (98.6% de los agricultores) y ventanas cenitales (95.3% de los agricultores). El porcentaje de agricultores que incorpora sistemas activos de control climático es muy bajo (el 4.2% con ventilación forzada, el 19.3% con sistemas de nebulización y el 8.4% con calefacción) (Valera *et al.*, 2014). Para combatir las altas temperaturas, en épocas del año en las que la ventilación natural no es suficiente, el 99% de los agricultores recurre al blanqueo de la cubierta (Valera *et al.*, 2014). Esta técnica consiste en aplicar sobre la cubierta del invernadero una mezcla de agua y carbonato cálcico micronizado (*Blanco España*). El valor medio de la dosis de producto aplicado (kg de carbonato cálcico por litro de agua) en la provincia de Almería, sobre plástico nuevo, está en torno a los 0.4 kg l⁻¹ (40/100), disminuyendo ligeramente si se realiza sobre plástico de una o más campañas (Valera *et al.*, 2014). Esta dosis es fruto del conocimiento generado durante décadas por los agricultores de la provincia de Almería. A pesar de la importancia que tiene el blanqueo en el control climático de los invernaderos mediterráneos, no son muchos los estudios técnicos o científicos que se han realizado sobre este tema.

Kittas, Baille y Giaglaras (1999) analizaron diferentes sistemas de sombreado en un invernadero tipo venlo (de cristal) de dos módulos, sin cultivo, dividido en cuatro sectores: (i) testigo, (ii) malla de sombreado exterior de color negro, (iii) malla de sombreado interior aluminizada y (iv) blanqueo, con un porcentaje de sombreado estimado del 35%. El uso de blanqueo mejoró ligeramente la proporción de radiación PAR en el interior del invernadero, reduciendo la proporción de radiación infrarroja, lo que puede representar una ventaja en climas cálidos. Otra ventaja del blanqueo es que no afecta a la ventilación natural del invernadero, lo que sí ocurre con el uso de mallas de sombreado en el interior. Como inconveniente, el blanqueo proporciona menor uniformidad en la radiación PAR interior y depende de las condiciones climáticas exteriores (lluvia, humedad...) en comparación con el uso de mallas de sombreado (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2000). Baille, Kittas y Katsoulas (2001) estudiaron el microclima en un invernadero de cristal con una ventana cenital, en Grecia, antes (en junio) y después (en julio) de blanquear la cubierta. Aplicaron una dosis de 8 kg de carbonato cálcico por cada 100 kg de agua. La transmisividad de la cubierta (entre las 9-19 horas) pasó de 0.62 sin blanqueo a 0.31 con blanqueo, reducción del 50% igual que la utilizada en Portugal por Abreu y Meneses (2000). También observaron que el cultivo (rosas) sufría menos estrés tras el blanqueo de la cubierta, ya que la tasa de transpiración del cultivo fue un 18% superior tras blanquear. La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior pasó de 5°C (sin blanqueo en junio) a 0.6°C (con blanqueo en julio). Estos autores consideran adecuada la dosis aplicada, ya que una reducción de más del 50% en la transmisividad de la cubierta sería excesiva.

En verano de 2004, en la provincia de Almería, se realizó una comparativa entre tres técnicas de control climático en invernaderos tipo Almería con cubierta de plástico: (i) ventilación forzada; (ii) ventilación natural y nebulización; (iii) ventilación natural y blanqueo, con un porcentaje de sombreo estimado del 35% (Gázquez *et al.*, 2006). No se encontraron diferencias importantes entre los valores medios, máximos y mínimos de temperatura de las tres alternativas, tampoco el blanqueo consiguió diferenciarse significativamente en los niveles de producción. Pero, analizando los costes de implantación y funcionamiento de las tres alternativas, el blanqueo resultó ser la alternativa más ventajosa. Otro efecto positivo del blanqueo es que aumenta la radiación difusa en el interior del invernadero, radiación más efectiva para la fotosíntesis del cultivo (Goudriaan y van Laar, 1994). Luo *et al.* (2005) en Shangai (China), mediante la aplicación de un modelo predictivo, indicaron que la producción de biomasa del cultivo era máxima cuando el blanqueo reducía en un 10% la transmisividad de la cubierta. A partir de ese máximo, la producción de biomasa y la transpiración del cultivo disminuían al reducir la transmisividad de la cubierta. En la República de Zimbabue, Mashonjowa *et al.* (2010), analizaron el efecto del blanqueo y la acumulación de suciedad en la cubierta de un invernadero sobre la transmisividad de la cubierta. Estos autores utilizaron un modelo climático para predecir los efectos del blanqueo sobre el microclima del invernadero: reduce significativamente la temperatura máxima interior, el déficit de presión de vapor, la diferencia de temperatura entre el cultivo y el aire, y la tasa de transpiración del cultivo. Todo ello favoreciendo a evitar situaciones de estrés para el cultivo.

En el mercado actual podemos encontrar una gran variedad de productos para blanqueo que se comercializan bajo diferente nombre. Todos ellos están compuestos principalmente por carbonato cálcico (CaCO_3). Actualmente se ofrecen productos que incorporan diferentes aditivos, como adhesivos para favorecer la retención de producto en la cubierta o para modificar sus características ópticas. En este trabajo se ha analizado el efecto, sobre el microclima de un invernadero mediterráneo, de cuatro productos comerciales de blanqueo para diferentes dosis de aplicación.

Material y Métodos

Los ensayos experimentales se realizaron en un invernadero mediterráneo tipo multitúnel ($24 \times 45 \text{ m}^2$) situado en la Finca Experimental “Catedrático Eduardo Fernández” de la Fundación UAL-ANECOOP de la Universidad de Almería ($36^\circ 51' \text{ N}$, $2^\circ 16' \text{ W}$), en la provincia de Almería (España). El invernadero se dividió en dos sectores independientes, el sector 1 de $24 \times 25 \text{ m}^2$ y el sector 2 de $24 \times 20 \text{ m}^2$ (Fig. 1). Las características técnicas de la cubierta del invernadero son: incolora difusa, espesor $200 \mu\text{m}$, transmisividad global a la luz visible del 85%, difusión de la luz visible 50%, termicidad- transmitancia a la luz infrarroja 8%. El invernadero cuenta con tres ventanas cenitales, en las que se instaló una malla anti-insectos con una densidad de hilos de $10 \times 20 \text{ hilos cm}^{-2}$ (ϕ porosidad 0.36) y con las siguientes características geométricas: L_{px} , longitud del poro en la dirección de trama $239.9 \pm 18.5 \mu\text{m}$; L_{py} , longitud del poro en la dirección de urdimbre $765.4 \pm 27.1 \mu\text{m}$; D_h , diámetro del hilo $259.6 \pm 19.1 \mu\text{m}$; D_i , diámetro de la circunferencia inscrita en el poro $241.9 \pm 19.1 \mu\text{m}$; S_p , superficie media del poro $0.182 \pm 0.015 \text{ mm}^2$. La superficie de cada ventana cenital era de $40 \times 1 \text{ m}^2$ ($22.5 \times 1 \text{ m}^2$ para el sector 1 y $17.5 \times 1 \text{ m}^2$ para el sector 2). Siendo la superficie de ventilación, expresada como el ratio Superficie de Ventana/Superficie Invernada S_v/S_A , igual a

11.25% para el sector 1 y 10.81% para el sector 2. Las ventanas se controlaron con un controlador de clima MultiMa (Hortimax S.L., Almería, España).

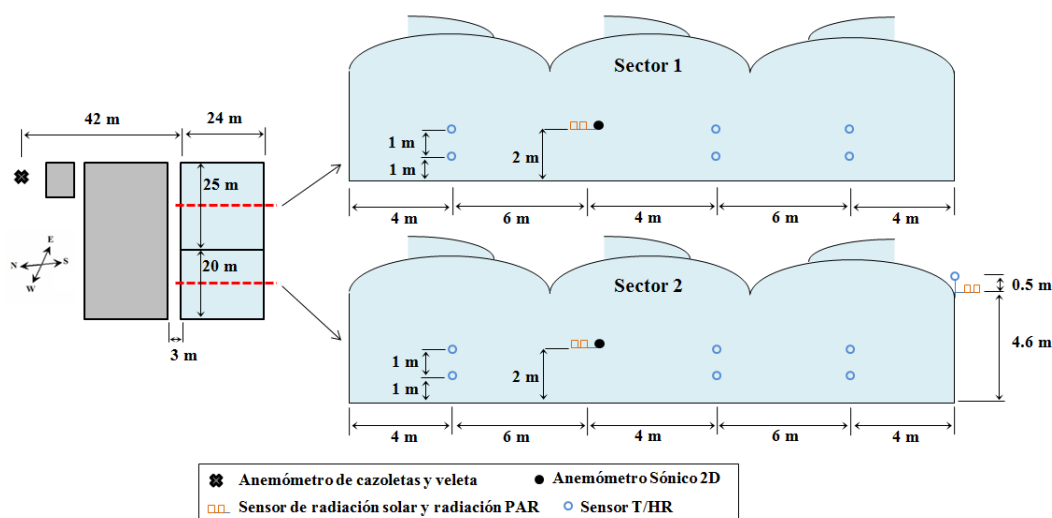


Figura 1. Situación del invernadero en la finca experimental y disposición de los sensores.

La temperatura y humedad relativa del aire se midió en el interior y en el exterior del invernadero con 13 sensores CS215 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España) con un chip multisensor SHT75 con tecnología CMOSens® (Sensirion AG, Zürich, Suiza; precisión para la temperatura del aire de $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$; rango de medida entre -40° to $+70^{\circ}\text{C}$; precisión para la humedad relativa, a 23°C , de $\pm 4\%$; rango de medida entre 0 y 100%). Los sensores se protegen de la radiación en el interior de una caja ventilada de forma natural modelo 41003-5 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España). La velocidad del aire se midió en el interior del invernadero con 2 anemómetros sónicos bi-dimensionales modelo Windsonic (Gill Instrument LTD, Lymington, Hampshire, Reino Unido; precisión de 2%). La radiación solar y la radiación PAR se midió en el interior y en el exterior del invernadero con 3 piranómetros SP1110 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España; rango espectral de medida entre 350 y 1100 nm; precisión de $\pm 5\%$) y con 3 sensores de radiación PAR SKP215 (Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, Reino Unido; rango espectral de medida entre 400 y 700 nm; rango de medida de 0 a $5 \times 10^4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; precisión de $\pm 5\%$). Los datos de estos sensores se almacenan en cuatro dataloggers modelo CR3000 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España) con una frecuencia de registro de 1 Hz. La velocidad y la dirección del viento (Fig. 1) se midieron con una estación meteorológica Meteostation II (Hortimax S.L., Almería, España) colocada a 10 m de altura, que incorpora un anemómetro de cazoletas (rango de medida de 0 a 40 m s^{-1} ; precisión de $\pm 5\%$) y una veleta para la dirección del viento (precisión de $\pm 5^{\circ}$). Las medidas de estos sensores se almacenaban cada minuto en un equipo informático independiente.

La toma de datos se realizó durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 2014 (sin cultivo). El sector 1 del invernadero actuaba como testigo, con la cubierta sin PSA (*Protector Solar Agrícola*). En el sector 2 se aplicaron cuatro PSA diferentes: *Blanco España* (PSA_{BE}), *Flex* (PSA_F), *SuperFlex* (PSA_{SF}) y *Especial Pimiento* (PSA_{SP}), todos ellos productos comerciales (Indaloblanco S.L., Almería, España). Para cada producto se ensayaron tres concentraciones [$\text{kg producto} / \text{l de agua}$] de aplicación: 0.125 kg l^{-1} (25/200), 0.25 kg l^{-1} (25/100), 0.50 kg l^{-1} (50/100); añadiendo una cuarta concentración, 0.08 kg l^{-1} (25/300), para el producto PSA_{BE} . En la aplicación de la

mezcla se consumen aproximadamente 0.1 l m⁻² de cubierta, lo que supone un valor de producto que finalmente queda retenido en la cubierta de 8.3, 12.5, 25.0 y 50.0 g m⁻² (de menor a mayor concentración). La dosis que recomienda el fabricante en la provincia es de 25/100.

Tabla 1. Valores medios diarios de las condiciones climáticas en el exterior durante los días de ensayo: u_o , velocidad del viento [m s⁻¹]; θ , dirección del viento [°]; HR_o , humedad relativa del aire [%]; T_o , temperatura del aire [°C]; R_o , radiación solar [W m⁻²]. PSA, Protector Solar Agrícola.

PSA	[kg l ⁻¹]	Date	u_o	θ^a	HR_o	T_o	R_o
BE Blanco España	0.08	19-21/07/2014	2.9±0.7	210.7±65.3	63.4±11.8	24.8±1.8	338.6±8.1
	0.125	23,25-26/07/2014	2.0±0.2	297.6±19.19	62.2±17.9	26.5±0.7	327.8±17.7
	0.25	29-31/07/2014	2.9±0.5	190.2±44.0	72.0±9.3	26.0±1.4	301.0±50.6
	0.50	02-04/08/2014	1.9±0.9	196.3±30.8	62.4±8.4	23.3±0.8	326.3±8.3
F Flex	0.125	10-12/08/2014	1.3±0.5	197.5±24.8	76.1±3.2	25.2±0.4	317.9±16.4
	0.25	14-16/08/2014	4.3±1.5	123.4±33.6	67.1±4.7	28.1±1.0	274.0±18.2
	0.50	20-22/08/2014	1.7±0.1	187.3±18.7	75.8±3.8	25.1±0.7	314.1±7.5
SF SuperFlex	0.125	24-26/08/2014	2.0±1.0	172±61.7	70.5±8.1	26.0±1.4	312.3±0.6
	0.25	28-30/08/2014	2.1±0.9	165.2±49.0	71.8±8.3	27.5±0.7	281.9±28.2
	0.50	02-04/09/2014	1.3±0.1	198.1±22.3	76.6±8.5	26.2±0.5	292.3±4.3
SP Especial Pimiento	0.125	06-08/09/2014	1.6±0.5	233.5±33.7	75.9±2.0	25.2±0.3	266.2±5.8
	0.25	10-12/09/2014	2.1±1.0	217.3±45.5	74.6±2.7	24.0±0.8	267.2±6.0
	0.50	14-16/09/2014	1.6±0.3	191.4±19.8	73.1±8.9	22.1±0.3	214.1±95.1
	0.125	18-21/09/2014	1.7±1.1	212.4±18.5	69.5±2.5	22.2±0.4	185.9±25.9
BE Blanco España	0.25	24-26/09/2014	2.7±1.8	144.8±57.2	73.6±8.2	22.0±2.1	228±19.1
	0.25*	27-29/09/2014	3.0±2.4	124.3±49.2	76.4±6.2	22±0.5	100.3±24.2
	0.50	07-09/10/2014	1.3±0.3	223.0±20.0	82.9±2.2	20.1±0.5	228.6±4.2
	0.50*	10-12/10/2014	2.7±1.1	226.7±76.0	76.2±3.1	20.8±1.0	147.9±43.4

^a Dirección del viento perpendicular a las ventanas cenitales igual a 208° para vientos de *Poniente* (provenientes del suroeste) y 28° para vientos de *Levante* (provenientes del noreste).

*Repeticiones realizadas con días muy nublados y lluvia débil ocasional.

Según los datos técnicos aportados por la empresa distribuidora, los cuatro productos comerciales están compuestos en más del 97% por carbonato cálcico (CaCO₃). La diferencia entre los productos se basa en la adición de componentes que aumentan la adherencia del producto a la cubierta del invernadero. El producto PSA_{BE} no incorpora este tipo de aditivos, y el resto, de menor a mayor proporción de adhesivo, tendríamos los productos PSA_F , PSA_{SF} y PSA_{SP} (el porcentaje total de adhesivo es un dato que no ha sido aportado por el fabricante). Todos los productos son solubles en agua fría, el diámetro medio de las partículas es de 2.8 µm y el diámetro máximo de 33 µm. Para cada dosis de cada producto el ensayo duraba 5 días (salvo incidencia): el producto se aplicaba a primera hora de la mañana del primer día, se realizaba el registro de datos durante el segundo, tercer y cuarto día, por último, en la mañana del quinto día se limpiaba la cubierta del invernadero y se aplicaba la siguiente dosis, comenzando un nuevo ciclo de ensayo. Las condiciones climáticas en el exterior del invernadero durante los días de registro de datos se resumen en la tabla 1. En los primeros ensayos realizados para el PSA_{BE} (del 19 de julio al 4 de agosto de 2014) solo se disponen de datos de radiación interior.

Resultados y Discusión

A continuación se presentan los resultados obtenidos en este trabajo. (i) Primero, analizaremos el comportamiento del producto que tradicionalmente se utiliza en los

invernaderos mediterráneos, el producto PSA_{BE} . Se analizarán dos periodos de ensayo, en julio-agosto y septiembre-octubre, mostrando el diferente comportamiento del producto según la época del año. También se presentan datos que muestran las variaciones del comportamiento de este producto tradicional con el paso de días muy nublados y con lluvia ocasional. (ii) Segundo, se presentan los resultados obtenidos para los productos que incorporan componentes adhesivos PSA_F , PSA_{SF} y PSA_{SP} .

Caracterización del Protector Solar Agrícola tradicional PSA_{BE}

En la Figura 2 se han representado los niveles de radiación solar en el exterior e interior del invernadero para los ensayos realizados en verano de 2014 para 4 concentraciones diferentes de aplicación del producto PSA_{BE} . El uso de PSA_{BE} reduce las fluctuaciones en los valores de radiación (global y PAR) medidos en el interior del invernadero. Este aspecto será positivo para el cultivo ya que hace que los niveles de radiación que inciden sobre el mismo sean más estables a lo largo del día. Los valores de la transmisividad de la cubierta determinados también fluctúan menos cuando se aplica el producto PSA_{BE} (Fig. 3). Estos dos efectos probablemente se deba a que el uso del PSA_{BE} aumenta la proporción de radiación difusa en el interior (Goudriaan y van Laar, 1994) que es menos sensible a la presencia de obstáculos (Baille, Kittas y Katsoulas, 2001).

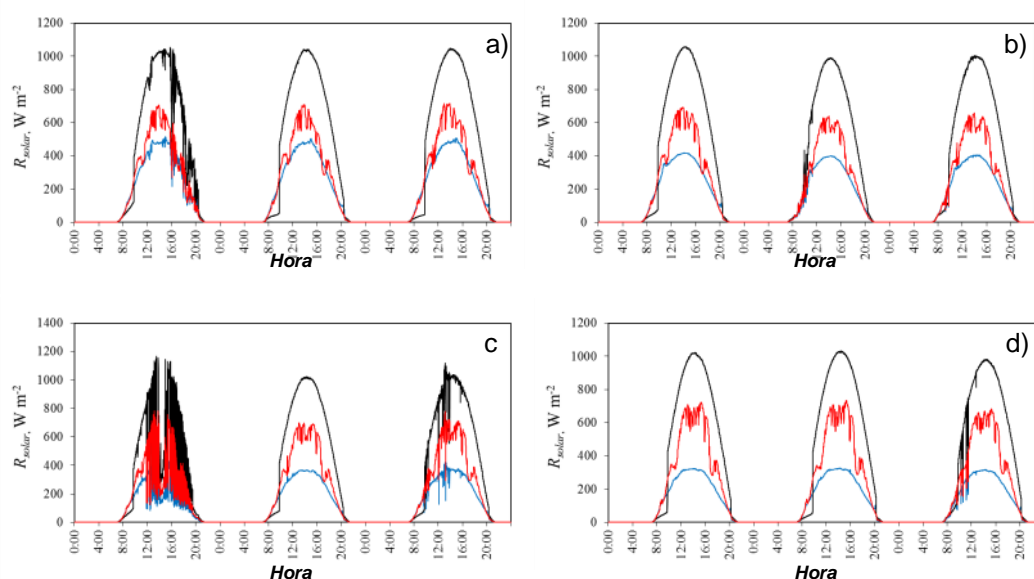


Figura 2. Niveles de radiación solar durante tres días de ensayo con diferentes concentraciones de PSA_{BE} : 0.08 kg l^{-1} (a); 0.125 kg l^{-1} (b); 0.25 kg l^{-1} (c); 0.50 kg l^{-1} (d). —, exterior; —, sector 1 (sin PSA_{BE}); —, sector 2 (con PSA_{BE}).

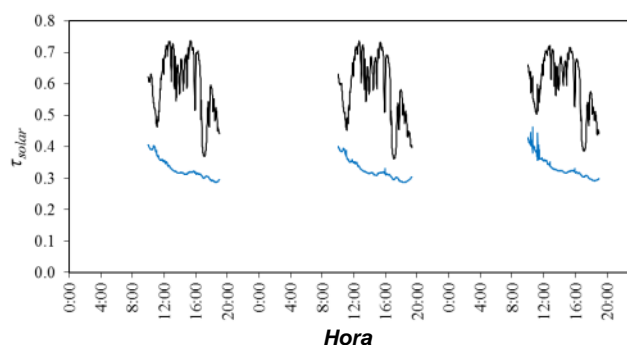


Figura 3. Valores de transmisividad de la cubierta, entre las 10:00 y las 19:00, registrados en los 3 días de ensayo del PSA_{BE} con una dosis de 0.50 kg l^{-1} . —, sector 1 (sin PSA_{BE}); —, sector 2 (con PSA_{BE}).

El PSA_{BE} , según la dosis aplicada, modifica la transmisividad de la cubierta a la radiación solar τ_s ($R_{s,i}/R_{s,o}$) y a la radiación PAR τ_{PAR} ($R_{PAR,i}/R_{PAR,o}$) (Tabla 2). Para condiciones climáticas similares a las de los ensayos realizados, la transmisividad de la cubierta se puede estimar según una ecuación potencial con base la dosis aplicada (Fig. 4). Los ajustes presentados son solo válidos para concentraciones del producto comprendidas entre 0.08 y 0.50 kg l^{-1} , para concentraciones próximas a 0 estos ajustes no son válidos, pues se obtendrían valores de transmisividad que tienden a infinito. En las figuras 4a y 4b se muestran los ajustes para obtener la transmisividad media de una cubierta, de características similares a la utilizada en este trabajo, entre las 10:00-19:00 y las 12:00-16:00. En las figuras 4c y 4d se muestran los ajustes para obtener la ratio $\tau_{conPSA}/\tau_{sinPSA}$ en función de la concentración de producto, ajuste que sería independiente de las características de la cubierta. La transmisividad a la radiación solar de la cubierta con PSA_{BE} se redujo, en comparación con la cubierta testigo sin PSA_{BE} , entre un 19% (concentración 0.08 kg l^{-1}) y un 44% (concentración 0.50 kg l^{-1}) entre las 10:00 y las 19:00, aumentando el porcentaje de reducción en las horas centrales del día (12:00-16:00) a un 24% (concentración 0.08 kg l^{-1}) y un 52% (concentración 0.50 kg l^{-1}). Se podría establecer la dosis de 0.50 kg l^{-1} como máxima recomendada, para respetar el límite de reducción del 50% recomendado por Baille, Kittas y Katsoulas (2001). En nuestro caso, con la dosis de 0.50 kg l^{-1} (50/100) se obtienen valores de la transmisividad de la cubierta en torno a 0.30, similar a la de los citados autores, aunque ellos con una dosis de producto muy inferior a la nuestra (8/100). Al aplicar el producto solo en la cubierta, y no en los laterales del invernadero, su efecto es mayor en las horas centrales del día (Tabla 2 y Figs. 4c y 4d).

La radiación PAR se obtiene en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para poder compararla con los valores de radiación solar obtenidos con un piranómetro (en W m^{-2}) se puede utilizar el factor 4.57 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}/(\text{W m}^{-2})$) (Hanan, 1997) o 4.6 (McCree, 1972), en nuestro caso optamos por 4.57 . Un inconveniente observado del blanqueo tradicional es que el producto PSA_{BE} reduce ligeramente la proporción de radiación PAR respecto a la radiación global en el interior del invernadero (Tabla 2), en contra de las observaciones realizadas por Kittas, Baille y Giaglaras (1999), quienes observaron un ligero aumento de la proporción de la radiación PAR.

Tabla 2. Valores medios de transmisividad de la cubierta en el sector 1 (sin PSA_{BE}) y en el sector 2 (con PSA_{BE}) para los ensayos realizados en verano. $[PSA_{BE}]$, concentración de producto en $kg\ l^{-1}$; τ_s , transmisividad a la radiación solar; τ_{PAR} , transmisividad a la radiación PAR; R_{PAR}/R_s , ratio radiación PAR interior / Radiación total interior [$W\ m^{-2}/W\ m^{-2}$]; subíndices: o, exterior; 1, sector 1 (sin PSA_{BE}); 2, sector 2 (con PSA_{BE}).

$[PSA_{BE}]$	$\tau_{s,1}$	$\tau_{s,2}$	$\tau_{s,2}/\tau_{s,1}$	$\tau_{PAR,1}$	$\tau_{PAR,2}$	$\tau_{PAR,1}/\tau_{PAR,2}$	$R_{PAR,o}/R_{s,o}$	$R_{PAR,i}/R_{s,i}$	$R_{PAR,2}/R_{s,2}$
10:00 – 19:00									
0.08	0.57 ± 0.09	0.46 ± 0.03	0.81	0.55 ± 0.07	0.43 ± 0.03	0.78	0.46	0.45	0.43
0.125	0.57 ± 0.08	0.41 ± 0.04	0.72	0.55 ± 0.06	0.39 ± 0.03	0.71	0.45	0.45	0.43
0.25*	0.59 ± 0.10	0.37 ± 0.03	0.63	0.58 ± 0.07	0.34 ± 0.03	0.59	0.46	0.45	0.42
0.50	0.59 ± 0.10	0.33 ± 0.03	0.56	0.58 ± 0.08	0.30 ± 0.03	0.52	0.46	0.45	0.42
12:00 – 16:00									
0.08	0.62 ± 0.05	0.47 ± 0.01	0.76	0.62 ± 0.03	0.45 ± 0.01	0.73	0.46	0.45	0.43
0.125	0.61 ± 0.04	0.40 ± 0.01	0.66	0.60 ± 0.03	0.38 ± 0.01	0.63	0.45	0.45	0.43
0.25*	0.66 ± 0.06	0.37 ± 0.01	0.56	0.64 ± 0.04	0.34 ± 0.01	0.53	0.46	0.45	0.43
0.50	0.66 ± 0.06	0.32 ± 0.01	0.48	0.65 ± 0.03	0.30 ± 0.01	0.46	0.45	0.44	0.42

*No se han considerado los datos del primer día de ensayo al estar muy nublado.

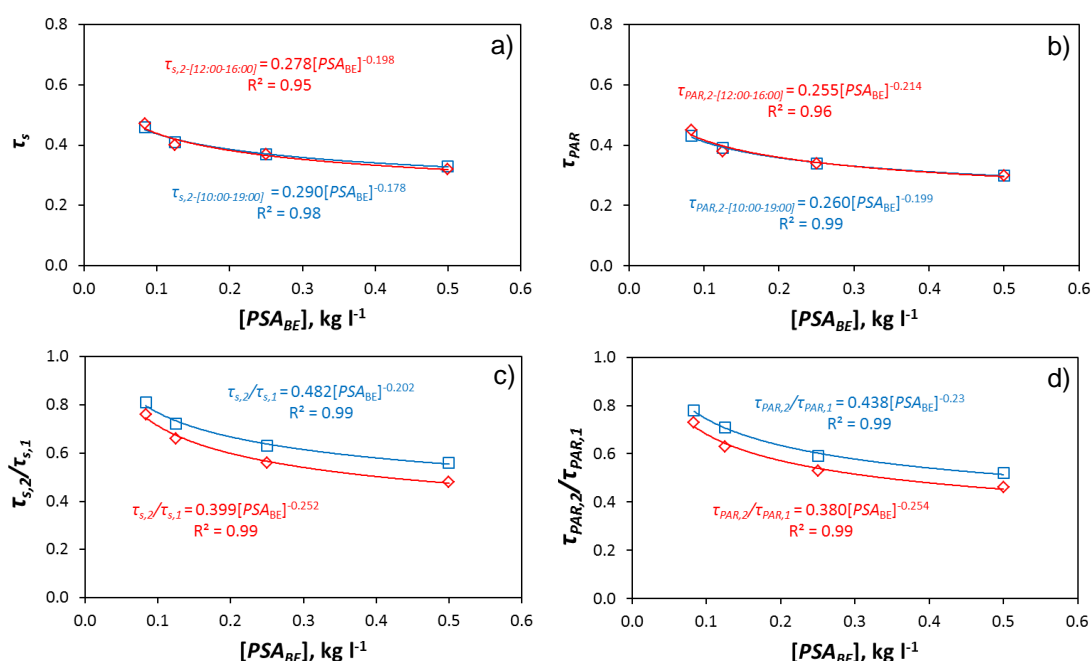


Figura 4. Valores medios de la transmisividad de la cubierta en función de la concentración $[PSA_{BE}]$; τ_s , transmisividad a la radiación solar (a); τ_{PAR} , transmisividad a la radiación PAR (b). Subíndices: 1, sector 1 (sin PSA_{BE}); 2, sector 2 (con PSA_{BE}). \square , entre las 10:00 y las 19:00 horas; \diamond , entre las 12:00 y las 16:00 horas.

Efecto del PSA_{BE} sobre la transmisividad de la cubierta en otoño

El efecto de la dosis del producto sobre la transmisividad varía según la época del año. Según la posición relativa de la Tierra respecto al Sol, los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre con una inclinación u otra. En verano aumenta la perpendicularidad en la incidencia de los rayos del sol sobre el hemisferio norte, mientras que en invierno

inciden de forma oblicua. En los invernaderos mediterráneos el PSA_{BE} suele aplicarse solo sobre la cubierta del invernadero. En verano (julio-agosto) la transmisividad determinada para la cubierta (para una misma dosis) fue significativamente inferior a la transmisividad determinada en otoño (septiembre-octubre) (Tablas 2 y 3). A medida que los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre el invernadero, mayor efecto tiene el PSA aplicado sobre los niveles de radiación interior, sobre la transmisividad de la cubierta determinada. El efecto sobre la proporción de radiación PAR respecto a la radiación global en el interior del invernadero fue similar en ambas épocas del año (Tablas 2 y 3).

Tabla 3. Valores medios de transmisividad de la cubierta en el sector 1 (sin PSA_{BE}) y en el sector 2 (con PSA_{BE}) para los ensayos realizados en otoño. $[PSA_{BE}]$, concentración de producto en kg l^{-1} ; τ_s , transmisividad a la radiación solar; τ_{PAR} , transmisividad a la radiación PAR; R_{PAR}/R_s , ratio radiación PAR interior / Radiación total interior [$\text{W m}^{-2}/\text{W m}^{-2}$]; subíndices: o, exterior; 1, sector 1 (sin PSA_{BE}); 2, sector 2 (con PSA_{BE}).

$[PSA_{BE}]$	$\tau_{s,1}$	$\tau_{s,2}$	$\tau_{s,2}/\tau_{s,1}$	$\tau_{PAR,1}$	$\tau_{PAR,2}$	$\tau_{PAR,1}/\tau_{PAR,2}$	$R_{PAR,o}/R_{s,o}$	$R_{PAR,1}/R_{s,1}$	$R_{PAR,2}/R_{s,2}$
10:00 – 19:00									
0.125	0.68±0.06	0.50±0.04	0.74	0.62±0.05	0.42±0.04	0.68	0.52	0.46	0.44
0.25	0.62±0.11	0.46±0.05	0.74	0.63±0.10	0.44±0.07	0.70	0.47	0.46	0.43
0.50	0.59±0.15	0.41±0.05	0.69	0.65±0.13	0.42±0.10	0.65	0.44	0.46	0.43
12:00 – 16:00									
0.125	0.72±0.05	0.49±0.04	0.68	0.64±0.03	0.41±0.04	0.64	0.52	0.47	0.44
0.25	0.71±0.07	0.48±0.04	0.68	0.70±0.07	0.45±0.05	0.64	0.47	0.46	0.44
0.50	0.70±0.11	0.40±0.04	0.57	0.74±0.11	0.39±0.04	0.53	0.45	0.47	0.43

La transmisividad a la radiación solar de la cubierta sin PSA_{BE} fue un 8% (10:00-19:00) y un 10% (12:00-16:00) inferior en verano que en otoño. Aplicando PSA_{BE} , entre las 12:00 y las 16:00, la transmisividad a la radiación solar fue un 18% ($[PSA_{BE}] = 0.125 \text{ kg l}^{-1}$), un 23% ($[PSA_{BE}] = 0.25 \text{ kg l}^{-1}$) y un 20% ($[PSA_{BE}] = 0.50 \text{ kg l}^{-1}$) inferior en verano que en otoño. Para analizar el efecto independiente del PSA_{BE} sobre la transmisividad de la cubierta en verano y otoño, se debe considerar el ratio $\tau_{s,2}/\tau_{s,1}$ (Tablas 2 y 3). Entre las 12:00 y las 16:00, el ratio $\tau_{s,2}/\tau_{s,1}$ fue un 3% ($[PSA_{BE}] = 0.125 \text{ kg l}^{-1}$), un 18% ($[PSA_{BE}] = 0.25 \text{ kg l}^{-1}$) y un 16% ($[PSA_{BE}] = 0.50 \text{ kg l}^{-1}$) inferior en verano que en otoño. En verano el producto PSA_{BE} provoca un mayor descenso de la transmisividad de la cubierta en comparación con el sector sin PSA_{BE} , siendo la diferencia entre verano y otoño mayor con las dosis de mayor concentración. Esta dependencia de la transmisividad de la cubierta con la época del año dificulta la comparativa entre diferentes productos cuando los ensayos se realizan en diferentes días.

Efecto del PSA_{BE} sobre la temperatura interior del invernadero en otoño

Aunque las condiciones climáticas en el exterior no eran las más adecuadas para ensayar este tipo de producto, ya que en esta época del año los agricultores comienzan a eliminarlo de la cubierta del invernadero, se han observado algunos efectos positivos que el uso del PSA_{BE} tiene sobre el microclima del invernadero (Tabla 4). La influencia del producto PSA_{BE} sobre la diferencia de temperatura media diaria (10:00-19:00 o 12:00-16:00) entre el sector 1 y el sector 2 no es muy acusada, a diferencia de lo observado por Baille, Kittas y Katsoulas (2001) en verano, posiblemente debido a que estos autores trabajaron con cultivo en el invernadero y en una época del año más propicia para el uso de esta técnica de control climático. Podemos destacar que la diferencia máxima de temperatura entre el sector con PSA_{BE} y el sector sin PSA_{BE}

(diferencia de temperatura en un mismo instante) llegó a ser de hasta -4.2°C con la dosis 25/100. La aplicación del PSA_{BE} sí afecta de forma notable a la homogeneidad de la temperatura interior. Se ha calculado la máxima diferencia entre los valores medios de temperatura (entre las 12:00 y las 16:00) de los diferentes sensores ($\Delta T_{1,max}$ y $\Delta T_{2,max}$), obteniendo un promedio para los tres días de ensayo de 3.2 , 2.7 y 3.7°C sin PSA_{BE} y de 2.2 , 1.8 y 2.3°C con PSA_{BE} (Tabla 4), para las concentraciones 0.125 , 0.25 y 0.5 kg l^{-1} , respectivamente. Un aspecto que puede considerarse negativo, es que el uso de PSA_{BE} parece provocar un ligero aumento del gradiente vertical de temperatura.

Tabla 4. Parámetros analizados para la temperatura durante los ensayos realizados en otoño con PSA_{BE} . [PSA_{BE}], concentración de producto en kg l^{-1} ; $\Delta T_{2,1}$, diferencia media de temperatura entre el sector 2 (con PSA_{BE}) y el sector 1 (sin PSA_{BE}) [$^{\circ}\text{C}$]; $\Delta T_{2,o}$, diferencia de temperatura entre el sector 2 (con PSA_{BE}) y el exterior [$^{\circ}\text{C}$]; $\Delta T_{v,1}$ y $\Delta T_{v,2}$, diferencia media entre la temperatura a 2 m y a 1 m de altura en los sectores 1 y 2 [$^{\circ}\text{C}$]; $\Delta T_{1,max}$ y $\Delta T_{2,max}$, máxima diferencia entre los valores medios de temperatura registrados por los diferentes sensores en los sectores 1 y 2 [$^{\circ}\text{C}$]. $\Delta T_{2,1,max}$ y $\Delta T_{1,o,max}$, máxima diferencia de temperatura entre el sector 2 y el sector 1, y entre el sector 1 y el exterior (la media de todos los sensores medidos en un mismo instante) [$^{\circ}\text{C}$].

[PSA_{BE}]	$\Delta T_{2,1}$	$\Delta T_{2,o}$	$\Delta T_{v,1}$	$\Delta T_{v,2}$	$\Delta T_{1,max}$	$\Delta T_{2,max}$	$\Delta T_{2,1,max}$	$\Delta T_{1,o,max}$
10:00 – 19:00								
0.125	-0.1	4.1	0.7	0.8	1.9	1.3	-2.0	10.5
0.25	-0.3	4.1	0.5	0.9	1.8	1.4	-4.2	14.9
0.50	-0.1	4.2	0.8	0.9	2.5	1.4	-2.0	9.5
12:00 – 16:00								
0.125	0.2	6.0	1.1	1.2	3.2	2.2	-	-
0.25	-0.9	4.9	0.8	1.2	2.7	1.8	-	-
0.50	-0.2	5.8	1.3	1.3	3.7	2.3	-	-

Efecto del PSA_{BE} en días nublados y con lluvias ocasionales

El producto PSA_{BE} no incorpora ningún aditivo que aumente la capacidad de retención del producto en la cubierta del invernadero, de modo que en días de lluvia se produce lo que se denomina el “lavado” de la cubierta. Para las concentraciones de 0.125 y 0.50 kg l^{-1} los ensayos llevado a cabo en otoño se realizaron durante 6 días, los 3 primeros sin incidencias climatológicas (días relativamente soleados) y los 3 siguientes con días nublados y con lluvia ocasional, con niveles de radiación exterior muy inferior a la de los 3 primeros días (Tabla 1). Con el paso de los días, el efecto de la elevada humedad del ambiente, el rocío y las lluvias ocasionales provocaron un importante descenso del efecto del PSA_{BE} . Comparando los valores medios de la transmisividad de la cubierta de los 3 primeros días (soleados) y de los 3 últimos días (nublados) se obtiene: un aumento de la transmisividad a la radiación solar, entre las 12:00 y las 16:00, de un 27% ($[PSA_{BE}]=0.125\text{ kg l}^{-1}$) y un 30% ($[PSA_{BE}]=0.50\text{ kg l}^{-1}$), siendo del 24% y 23% para a la radiación PAR, respectivamente. Aunque parte del aumento de la transmisividad de la cubierta debe atribuirse también al aumento de la radiación difusa en días nublados. En el futuro, será necesario analizar la capacidad de retención de los productos que incorporan aditivos que aumentan la adherencia del producto (PSA_F , PSA_{SF} y PSA_{SP}) bajo el efecto de la lluvia.

Comparativa entre los productos PSA_{BE} , PSA_F , PSA_{SF} y PSA_{SP}

Según el catálogo técnico de los diferentes productos ensayados el 97% de su composición se corresponde con carbonato cálcico (CaCO_3). Analizando el efecto de cada PSA sobre la transmisividad de la cubierta en comparación con el sector testigo sin PSA (Fig. 5) no se observa tendencia alguna que diferencie de forma evidente un

producto de otro. Las diferencias puntuales observadas en un caso u otro pueden deberse más a las circunstancias de cada caso (uniformidad de la aplicación del producto, condiciones climáticas...) que a la composición del producto. Los componentes aditivos que mejoran la adherencia del producto a la cubierta (incluidos en el 3% de su composición) no parecen afectar de forma determinante a su comportamiento frente a la radiación. En la Figura 5 se ha realizado un ajuste que permitiría estimar la reducción de la transmisividad de la cubierta en función de la dosis aplicada en los meses de julio-septiembre, suponiendo que los cuatro productos ensayados son el mismo. En cuanto a la temperatura, la máxima diferencia de temperatura entre el sector con *PSA* y el sector sin *PSA* (en un mismo instante), para la dosis que recomienda el fabricante en la provincia (25/100) fue de -4.2°C para *PSA_{BE}*, -3.9°C para *PSA_F*, -5.0°C para *PSA_{SF}* y -2.0°C para *PSA_{SP}*.

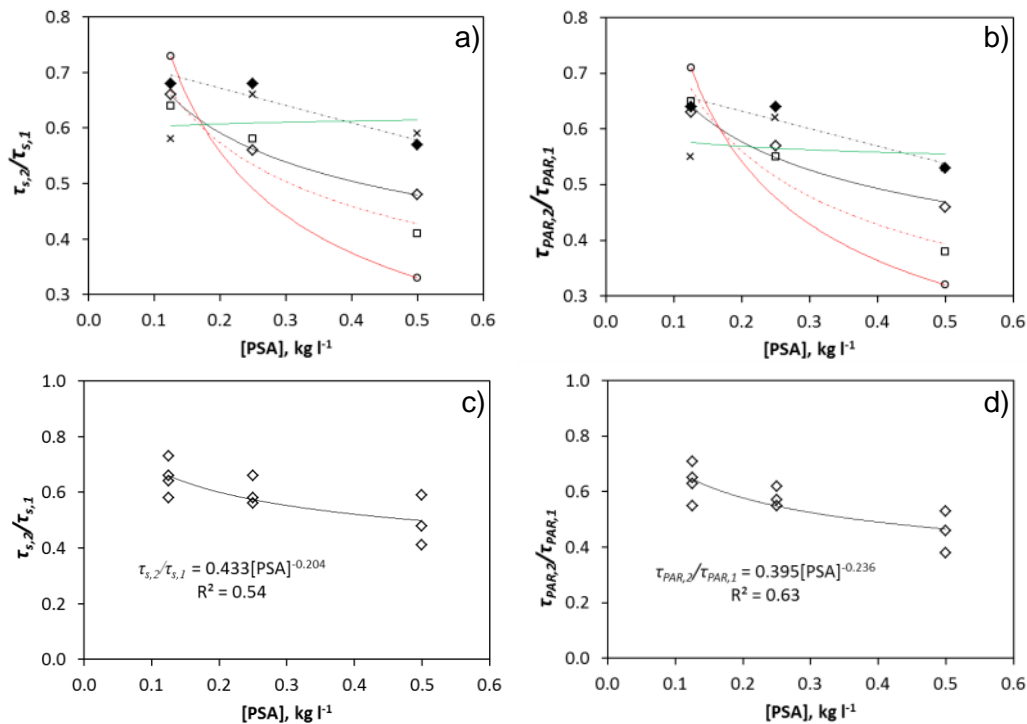


Figura 5. Valores medios, entre las 12:00 y las 16:00 horas, del ratio $\tau_{s,2}/\tau_{s,1}$ (a) y $\tau_{PAR,2}/\tau_{PAR,1}$ (b) en función de la dosis [kg l^{-1}] de cuatro *PSA* diferentes: \diamond (—), *PSA_{BE}* (verano); \blacklozenge (---), *PSA_{BE}* (otoño); \circ (—), *PSA_F*; \square (---), *PSA_{SF}*; \times (—), *PSA_{SP}*. τ_s , transmisividad a la radiación solar; τ_{PAR} , transmisividad a la radiación PAR. Subíndices: 1, sector 1 (sin *PSA*); 2, sector 2 (con *PSA*). Suponiendo los cuatro productos como uno (eliminando valores extremos) y sin considerar el producto *PSA_{BE}* (otoño) (c y d).

Conclusiones

Con la aplicación solo en la cubierta del producto *PSA_{BE}*, su efecto sobre la transmisividad de la cubierta (sobre los niveles de radiación en el interior) varía con la altura solar (época del año). Como aspectos positivos se ha observado que los valores de la transmisividad de la cubierta y de la radiación interior (total y PAR) fluctúan menos durante el día con el uso de *PSA_{BE}*. Para una dosis recomendada de 25 kg de *PSA* por cada 100 l de agua (25 g de CaCO_3 por m^2 de cubierta aproximadamente) se ha determinado (entre las 12:00 y las 16:00 horas) la transmisividad media de la cubierta y el porcentaje respecto al sector testigo (sin *PSA*): 0.37 (56%) en julio-agosto y 0.48 (68%) en septiembre-octubre para el producto *PSA_{BE}*, 0.53 (77%) para *PSA_F*, 0.40

(58%) para PSA_{SF} y 0.48 (66%) para PSA_{SP} . La máxima diferencia de temperatura entre el sector con PSA y el sector sin PSA (en un mismo instante), para la dosis recomendada por el fabricante (25/100) fue de -4.2°C para PSA_{BE} , -3.9°C para PSA_F , -5.0°C para PSA_{SF} y -2.0°C para PSA_{SP} . La adición de componentes adhesivos no parece afectar de forma evidente al comportamiento de los cuatro productos analizados (PSA_{BE} , PSA_F , PSA_{SF} y PSA_{SP}).

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento especialmente a la empresa Indaloblanco S.L., al Centro de Investigación BITAL y al grupo de investigación Ingeniería Rural de la Universidad de Almería.

Bibliografía

- Abreu, P.E., Meneses, J.F., 2000. Influence of soil covering, plastic ageing and roof whitening on climate and tomato crop response in an unheated plastic Mediterranean greenhouse. *Acta Hortic.* 534, 343–350.
- Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agr. Forest Meteorol.* 107, 293–306.
- Fernandez-Rodriguez, E.J., Camacho-Ferre, F., Vazquez, J.J., Kenig, A., 2000. Radiative field uniformity under shading screens under greenhouse vs whitewash in Spain. *Acta Hortic.* 534, 125–130.
- Gázquez, J.C., López, J.C., Baeza, E., Sáez, M., Sánchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Lorenzo, P., 2006. Yield response of a sweet pepper crop to different methods of greenhouse cooling. *Acta Hortic.* 719, 507–514.
- Goudriaan, G., van Laar, H.H., 1994. *Modelling Potential Crop Growth Processes*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Netherlands) 238pp.
- Hanan, J.J., 1997. *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press Taylor & Francis Group, Florida (USA) 720pp.
- Kittas, C., Baille, A., Giaglaras, P., 1999. Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses. *J Agr. Eng. Res.* 73, 341–351.
- Luo, W., Stanghellini, C., Dai, J., Wang, X., de Zwart, H.F., Bu, C., 2005. Simulation of Greenhouse Management in the Subtropics, Part II: Scenario Study for the Summer Season. *Biosyst. Eng.* 90(4), 433–441.
- Mashonjowa, E., Ronsse, F., Mhizha, T., Milford, J.R., Lemeur, R., Pieters, J.G., 2010. The effects of whitening and dust accumulation on the microclimate and canopy behaviour of rose plants (*Rosa hybrida*) in a greenhouse in Zimbabwe. *Sol. Energy* 84, 10–23.
- McCree, K.J., 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agr. Meteorol.* 10, 443–453.
- Valera, D.L., Belmonte, L.J., Molina-Aiz, F.D., López, A., 2014. *Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad*. Ed. Cajamar Caja Rural, Almería (Spain). 504 pp.

TI04 - Las mallas de protección y su efecto sobre la dinámica poblacional de insectos en condiciones reales de campo en invernadero.

Marín, P.¹, Valera, D.L.², López, A.³, Molina-Aiz, F.D.⁴, Moreno, M.A.⁵

Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria BITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento, s/n. 04120 Almería, España. ¹ pmm213@ual.es, ² dvalera@ual.es, ³ alexlopez@ual.es, ⁴ fmolina@ual.es, ⁵ mtm789@ual.es

Resumen

Se ha analizado la influencia de dos tipos de mallas anti-insectos, bajo diferentes técnicas de refrigeración por evaporación de agua (nebulización y paneles evaporadores), sobre la dinámica poblacional de insectos perjudiciales (mosca blanca y trips). Los ensayos se han realizado en tres invernaderos multitúnel del campo de prácticas de la Universidad de Almería, con un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Ventero) durante la campaña 2011-2012. No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de población de mosca blanca y trips entre los dos tipos de mallas anti-insectos estudiadas (10×20 hilos/cm² y 13×30 hilos/cm²). Con sistemas de refrigeración por evaporación de agua se pueden dar altos niveles de humedad relativa que favorecen el desarrollo de población de mosca blanca. Las mallas anti-insectos no han resultado suficientes para el control de insectos; representan un medio de defensa que debe acoplarse de manera integral con otros procedimientos y una adecuada gestión global del agrosistema invernadero.

Palabras clave: Control climático, tomate, mosca blanca, trip.

Insect-proof screens and its effect on the population of insects in real condition in greenhouse.

Abstract

We have analyzed the influence of two types of insect-proof screens on the population of insect pests (whitefly and trips) under different types of greenhouses and different climatic control systems (fog and pad-fan). To develop our study we have greenhouses located in the experimental farm of the University of Almería, being multitunnel and Almería type with a tomato crop (*Solanum lycopersicum* L. cv. Ventero). During the agricultural season 2011-2012, it has study two meshes (10×20 threads/cm² and 13×30 threads/cm²). There have been no statistically significant differences in the efficacy of studied meshes (under real condition in field, although in laboratory there was). Evaporative cooling systems can provide high levels of relative humidity, improving whitefly population. Insect-proof screens represent a defence to be coupled integrally with other procedures and adequate overall management of greenhouse agro-system.

Keywords: Climate control, tomato, whitefly, thrip.

Introducción y Justificación

Frankliniella occidentalis (comúnmente conocido como trips), es una de las principales plagas de hortalizas en invernaderos y cultivos ornamentales (Lewis, 1997) que se alimentan directamente y ovipositan en partes de la planta, e indirectamente mediante la transmisión de virus (Broughton *et al.*, 2015). Junto con *Bemisia tabaci* (comúnmente conocida como mosca blanca) se han convertido actualmente en uno de los problemas con mayor repercusión en la horticultura protegida, debido al costo de los productos fitosanitarios y sus efectos negativos en el medioambiente, siendo necesario el uso de sistemas de control amigables con él (Valera *et al.*, 2014). Las ventajas del uso de mallas anti-insectos en las ventanas incluyen la reducción en el número de tratamientos

fitosanitarios y reducción en la exposición a los plaguicidas de los trabajadores (Cabrera *et al.*, 2002).

La ventilación natural en los invernaderos de la región mediterránea, es una de las mejores y más económicas herramientas de control de clima (Demrati *et al.*, 2001). El intercambio de aire entre el interior y el exterior del invernadero influye en parámetros ambientales como la temperatura, la humedad y la concentración de CO₂ que afectan al desarrollo y a la producción del cultivo. Esta ventilación se ve disminuida por la colocación de las mallas anti-insectos. La mejor malla será la que conjugue el equilibrio perfecto entre paso de insectos y ventilación dentro del invernadero. El uso de mallas anti-insectos reduce perceptiblemente la circulación de aire y aumenta los gradientes térmicos dentro del invernadero. A medida que disminuye el tamaño de los poros de los tejidos, y disminuye su porosidad, la renovación de aire del invernadero se reduce, con lo que se presentan problemas de ventilación (Valera *et al.*, 2006), para una malla con el 35% de porosidad se ha observado una reducción de hasta el 46% de la tasa de renovación del microclima interior, en comparación con el invernadero sin malla (Majdoubi *et al.*, 2007). La disminución de la porosidad de la malla anti-insectos aumenta los gradientes verticales de temperatura de entre el 5 y 10%, medidos en invernaderos con cultivo de tomate, comparando mallas de porosidades del 19%, 33%, 34% y 53% (Soni *et al.*, 2005). El descenso en la tasa de renovación del aire en el interior del invernadero genera problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos (Arellano, 2004). Son deseables humedades relativas inferiores al 90%, pues si son superiores favorecen el desarrollo de enfermedades criptogámicas, especialmente *Botrytis cinerea* (Van Steekekenburng, 1992), se consideran óptimos valores del 70 al 80% (Winspear y Bailey, 1978). Las mallas anti-insectos están cumpliendo parcialmente con su función, por ejemplo en el bloqueo del paso de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en algunos casos no se cumple (Cabrera *et al.*, 2002). Este hecho puede deberse a la no uniformidad de la confección de la malla cuyos poros deberán tener un determinado número de hilos por unidad de superficie (Valera *et al.*, 2003), por lo que es necesario conocer otros parámetros como disposición de los hilos, tamaño de poro, grosor de los hilos y su espectro; transmisión global de luz visible, difusión de la luz, etc., (Teitel, 2007); que permitan obtener la mejor eficiencia microclimática del invernadero y el bloqueo de entrada de insectos vectores de enfermedades en los cultivos (Katsoulas *et al.*, 2006).

De acuerdo con la situación actual de la agricultura moderna, es incuestionable la necesidad del uso de mallas anti-insectos en los invernaderos, por ello es recomendable determinar su eficacia en diferentes situaciones reales en campo. El objetivo de este ensayo es analizar la influencia de diferentes tipos de mallas anti-insectos, bajo diferentes técnicas de refrigeración por evaporación de agua (nebulización y paneles evaporadores), sobre la dinámica poblacional de insectos perjudiciales (mosca blanca y trips).

Material y Métodos

Los invernaderos se encuentran situados en la parte norte del Campo de Prácticas de la Universidad de Almería "Catedrático Eduardo Fernández" de la Fundación UAL-ANECOOP, siendo su situación: Longitud: 2° 17' O, Latitud: 36° 51' N y Altitud: 90 m. El ensayo se realizó en tres invernaderos tipo multitúnel (Figura 1). Dos de ellos están

constituidos por tres módulos de 8 m de anchura con ventanas cenitales en todos ellos. En el denominado U11, hay ventanas laterales en los costados norte y sur, mientras que en lateral norte del otro invernadero, denominado U9, se instalaron extractores de aire y en el sur un panel evaporador (cooling system). Las dimensiones de estos dos invernaderos son de 24x45 m (1080 m²). El tercer invernadero, U12, tiene una longitud similar de 45 m, pero su anchura es algo menor (18 m), al estar constituido por dos módulos de 9 m (810 m²). En este invernadero hay dos ventanas cenitales y dos laterales (una en cada costado).

El módulo U9 dispone de un sistema de paneles evaporadores, el módulo U11 dispone de un sistema de nebulización a baja presión y el módulo U12 dispone de ventilación natural y actúa como testigo. El sistema de refrigeración por evaporación de agua del módulo U9 consta de paneles evaporadores CELdek® 7090-15 (Munters Spain S.A.) y 8 extractores EM50d (Munters Spain S.A.) de 735 W de potencia con un caudal nominal a 25 Pa de 31594 m³ h⁻¹. El sistema de nebulización, instalado en el módulo U11, es de aire comprimido con un compresor rotativo de tornillo RTA10-8 (Puska Pneumatic, S.A.) con una potencia nominal de 7.5 kW, una presión de trabajo de 8 bares y un caudal de aire de 1.12 l min⁻¹. Dentro del invernadero se dispone de una red doble de tuberías de agua y de aire que abastecen a las boquillas de nebulización distribuidas con una densidad de 0.1 boquillas m⁻². La medida de los parámetros climáticos en el exterior se realiza mediante una estación meteorológica fija colocada a 10 m de altura y 15 m de distancia del lateral norte del invernadero. El registro de datos de los sensores instalados en la estación se realizará mediante un controlador de clima MultiMa (Hortimax S.L., El Ejido). En el interior de las explotaciones se dispone de cajas de medida Ektron-II-C (Hortimax S.L.).



Figura 1. Perspectiva de los invernaderos (izda.). División interior de los invernaderos (dcha.).

Cada invernadero se encuentra dividido por la mitad (Figura 1), constituyendo cada mitad de invernadero una subparcela o sector de los ensayos. En el ensayo se analizó una malla de 13 x 30 hilos/cm² (T₁) respecto a una malla testigo comercial de 10 x 20 hilos/cm² (T₀), instaladas cada una de ellas en un sector, durante la campaña 2011-2012, en un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Ventero) bajo diferentes técnicas de refrigeración por evaporación de agua (nebulización y paneles evaporadores) (Tabla 1). Cada malla instalada tiene unas características geométricas específicas (Tabla 2). La consigna empleada en la nebulización fue 23°C (durante el periodo de funcionamiento, la hora de inicio fue dos horas tras la salida del sol hasta dos horas antes de la puesta de sol, se activa entre 20 y 50 segundos, según la temperatura calculada, y para entre turnos durante 60 segundos) y en los paneles evaporadores la

consigna fue 25°C durante todo el día (se activa cuando alcanza 10°C sobre la temperatura calculada de ventilación, en este caso 15°C). Las actividades asociadas al manejo del cultivo en el transcurso de su desarrollo vegetativo y cosecha, tienen como propósito principal conseguir los máximos rendimientos, y fueron todos realizados por igual en las distintas parcelas.

Tabla 1: Ensayos realizados en cada parcela de experimentación.

Sector	Control Clima	S_v/S_i	Malla
U9E	PE	10.9%	T_0
U9O	PE	10.6%	T_1
U11E	NB	18.8%	T_0
U11O	NB	18.3%	T_1
U12E	VN	19.6%	T_0
U12O	VN	18.9%	T_1

Abreviaturas: PE: paneles evaporadores; NB: sistema de nebulización de baja presión; VN: ventilación natural; S_v/S_i : Superficie de ventilación/Superficie invernada; T_0 : Malla testigo de 10x20 hilos/cm²; T_1 : Malla experimental de 13x30 hilos/cm².

Las poblaciones de insectos a estudiar han sido mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Frankliniella occidentalis*). El muestreo se realiza con trampas cromáticas adhesivas amarillas para la mosca blanca y azules para el trips, ambas de 20x25 cm en todos los invernaderos. Se colocaron en el interior de cada parcela de experimentación 4 trampas de cada color, además de estas, en la parte exterior de las ventanas laterales 2 trampas de cada color. Las trampas se situaron a 20 cm sobre la planta. El cambio de trampas se realizó cada 14 días. La observación de los insectos adheridos a las trampas se hizo por las dos caras, con ayuda de una lámpara con lupa, de 22 W y 5 dioptrías (ampliación de 2,25X).

Tabla 2: Características geométricas de las mallas anti-insectos durante las distintas fases de los ensayos.

Sector	Malla	D_r	ϕ	L_{px}	L_{py}	D_h
U9E; U11E y U12E	T_0	9.8 x 20.0	35.0	238.6	746.0	265.3
U9O; U11O y U12O	T_1	12.5 x 31.3	26.3	110.0	611.9	200.2

Abreviaturas: T_0 : Mallas testigo de 10x20 hilos/cm²; T_1 : Mallas experimentales de 13x30 hilos/cm²; D_r , densidad de hilo [hilos/cm²]; ϕ , porosidad [%]; L_{px} , longitud del poro en el eje x [μ m]; L_{py} , longitud del poro en el eje y [μ m]; D_h , diámetro medio de los hilos [μ m].

El análisis estadístico de los datos se ha realizado con el programa Statgraphics v.4 Plus. Se ha realizado la comparación de varias muestras mediante la Prueba de Rangos Múltiples, el método concreto empleado para discriminar entre las medias ha sido el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con el que existe un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Resultados y Discusión

Podemos ver en la Tabla 3 la población media de mosca blanca y trips por trampa, en la zona exterior e interior de cada sector. Entre sectores (comparando la malla T_0 con la T_1) de un mismo invernadero, no hay diferencia estadísticamente significativa para ninguno de los dos tipos de insectos estudiados.

En el invernadero U9, sin ventanas laterales, los niveles de mosca blanca son los más altos registrados (Tabla 3).

Sí han aparecido diferencias entre los dos sectores oeste de los invernaderos con sistema de refrigeración y el invernadero con ventilación natural, siendo en este último donde la población de mosca blanca es inferior, lo cual puede ser debido a las condiciones climáticas más idóneas para el desarrollo de este insecto en los invernaderos con mayores niveles de humedad (Tablas 3 y 4). No ocurriendo lo mismo en el caso de los sectores este, donde no existe diferencia ni en población de mosca blanca ni en humedad. En la población de trips no existen diferencias estadísticamente significativas entre ningún sector.

Tabla 3: Población media de mosca blanca y trips por trampa, de marzo a junio de 2012, en la zona exterior e interior de cada sector.

Sector	Mosca blanca interior	Trips interior	Mosca blanca exterior	Trips exterior	Mosca blanca interior/exterior	Trips interior/exterior
Sin ventanas laterales						
U9E	32.16 b	14.55 a	-	-	-	-
U9O	69.56 b	9.25 a	-	-	-	-
Con ventanas laterales						
U11E	8.85 ab	12.56 a	85.67 a	37.06 a	0.10	0.34
U11O	27.87 b	8.73 a	15.72 a	53.16 a	1.77	0.16
U12E	7.04 ab	33.50 a	106.01 a	128.36 a	0.06	0.26
U12O	4.50 a	15.24 a	90.76 a	71.96 a	0.05	0.21

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza.

La población tanto de mosca blanca como de trips exterior (Tabla 3) se ha dado, en general, en los sectores este de los invernaderos, probablemente debido a la predominancia de los vientos de levante en esta zona y la disposición del resto de invernaderos en la finca, ya que se encuentra una mayor concentración de ellos al este de los invernaderos experimentales. Podemos ver en la tabla como en la mayoría de los casos la población exterior ha sido superior a la interior, pues estamos en un periodo cálido donde la presión exterior de insectos es elevada y se puede observar el efecto de todos los tipos de mallas anti-insectos estudiadas. Esto no ocurre en el sector oeste del invernadero U11, con altos niveles medios de humedad (Tabla 4), donde el ratio mosca blanca interior/exterior fue 1.77.

Analizando los parámetros climáticos (Tabla 4), vemos que los valores de temperatura media durante los meses de marzo a junio de 2012 (cuando se realizó el muestreo de insectos) fueron similares entre sectores este y oeste de un mismo invernadero. Los mayores niveles de humedad relativa media se han observado en los sectores oeste de los invernaderos con sistema de refrigeración, esto se ha producido debido a que el controlador climático gestiona la apertura de ventanas y los sistemas de refrigeración en función de los parámetros climáticos del sector este, donde la malla anti-insectos es más porosa.

En la figura 2 se puede ver la evolución de la humedad relativa y las capturas de mosca blanca en el interior de los sectores oeste de los invernaderos multitúnel, donde se han

encontrado diferencias estadísticamente significativas, en ella observamos como en el invernadero donde la humedad relativa ha sido inferior (U12O), sin sistema de refrigeración, las capturas de mosca blanca han sido inferiores a los otros dos casos.

Tabla 4: Valores medios diarios de temperatura y humedad relativa en cada sector, de marzo a junio de 2012.

Sector	Temperatura media (°C)	Humedad relativa media (%)
U9E	18.28 a	66.14 a
U9O	18.15 a	72.13 bc
U11E	18.93 a	63.25 a
U11O	18.41 a	72.91 c
U12E	17.84 a	64.45 a
U12O	18.83 a	65.75 a

* Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel del 95.0% de confianza.

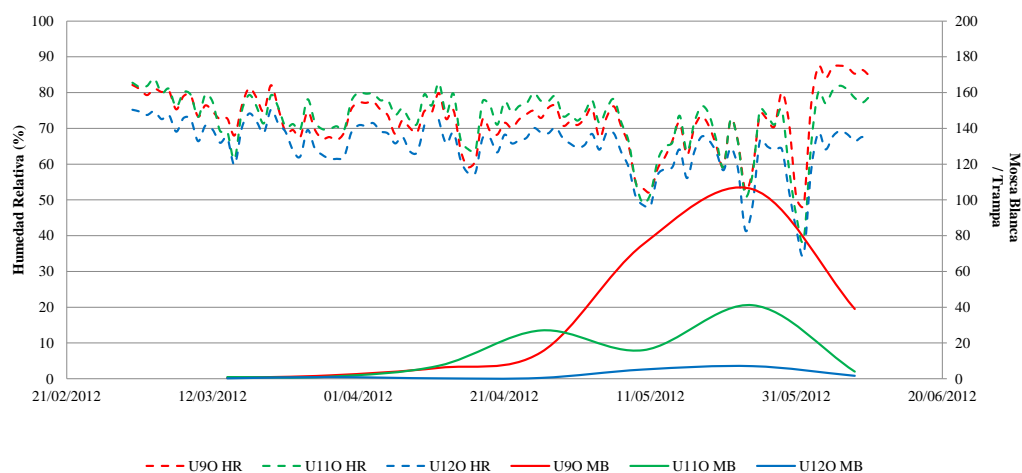


Figura 2. Evolución de la humedad relativa y de las capturas de mosca blanca en el interior de los sectores oeste. [Abreviaturas: HR: Humedad relativa; MB: Capturas de mosca blanca].

Conclusiones

No se han observado diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de población de mosca blanca y trips entre los dos tipos de mallas anti-insectos estudiadas (10×20 hilos/cm² y 13×30 hilos/cm²).

Con sistemas de refrigeración por evaporación de agua se pueden dar altos niveles de humedad relativa que favorecen el desarrollo de población de mosca blanca.

La mallas anti-insectos no han resultado suficientes para el control total de insectos; representan un medio de defensa que debe acoplarse de manera integral con otros procedimientos y una adecuada gestión global del agrosistema invernadero.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación BITAL y al Grupo de Investigación Ingeniería Rural, por el apoyo prestado para el desarrollo de la experimentación.

Bibliografía

- Arellano, M.A.G., 2004. Tesis Doctoral. Caracterización microclimática del invernadero Almería y análisis de la ventilación forzada como vía de mejora de los parámetros ambientales que optimicen la producción y calidad de diversos cultivos hortícolas. Universidad de Almería, Departamento de Ingeniería Rural.
- Broughton, S., Cousins, D.A., Rahman, T., 2015. Evaluation of semiochemicals for their potential application in mass trapping of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in roses. *Crop Prot.* 67, 130-135.
- Cabrera, F.J., López, J.C., Baeza, E.J., Pérez-Parra, J., 2002. Informe sobre la caracterización de mallas anti-insecto. *Almería Agrícola* 47,18-27.
- Demrati, H., Boulard, T., Bekkaoui, A., Bouirden, L., 2001. Natural ventilation and microclimatic performance of a large-scale banana greenhouse. *J. Agr. Eng. Res.* 80(3), 261-27.
- Katsoulas, N., Bartzanas, T., Boulard, T., Mermier, M., Kittas, C., 2006. Effect of vent openings and insect screens on greenhouse ventilation. *Biosyst. Eng.* 93(4), 427-436.
- Lewis, T., 1997. Thrips as Crop Pests. CAB International, Wallingford, Oxon, U.K, 740 pp.
- Majdoubi, H., Boulard, T., Hanafi, A., Bekkaoui, A., Fatnassi, H., Demrati, H., Nya, M., Bouirden, L., 2007. Natural ventilation performance of a large greenhouse equipped with insect screens. *T. ASABE* 50(2), 641-650.
- Soni, P., Salokhe, V.M., Tantau, H.J., 2005. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. *Biosyst. Eng.* 92(4), 469-482.
- Teitel, M., 2007. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agr. Forest Meteorol.* 143(3-4), 159-175.
- Valera D.L., Belmonte L.J., Molina F.D., López A., 2014. Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad. Cajamar Caja Rural. 504 pp. (Disponible *on line* en <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis-de-su-tecnologia-y-rentabilidad/>).
- Valera, D.L., Peña, A., Molina, F.D., Álvarez, A.J., López, J.A., Madueño, A., 2003. Caracterización geométrica y mecánica de diferentes tipos de agro-textiles utilizados en invernaderos. Resúmenes 2º Congreso Nacional de Agroingeniería, 267-268.
- Valera, D.L., Álvarez, A.J., Molina, F.D., 2006. Aerodynamic analysis of several insect-proof screens used in greenhouses. *Span. J. Agric. Res.* 4(4), 273-279.
- Van Steekelenburg, N.A.M., 1992. Novel approaches to integrated pest and disease control in glasshouse vegetables in the Netherlands. *Pestic. Sci.* 36(4), 359-362.
- Winspear, K., Bailey, B., 1978. Thermal screens for greenhouses energy effectiveness. *Acta Hort.* 87, 111-118.

TI05 - Análisis del cultivo en un invernadero Almería con ventilación natural mediante termografía, actividad fotosintética, flujo de CO₂ y anemometría sónica

Molina-Aiz, F.D.¹, Valera, D.L.², López, A.³, Marín, P.⁴, Moreno, M.A.⁵

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria BITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento, s/n. 04120 Almería, España, e-mail: fmolina@ual.es

Resumen

Mediante termografía se ha medido la temperatura de un cultivo de pimientos en suelo enarenado en un invernadero Almería de 5 módulos con ventilación natural. También se midieron la temperatura, la resistencia estomática, la evapotranspiración y la actividad fotosintética con un sensor de fotosíntesis portátil, en el pimiento, en un segundo cultivo de tomate hidropónico y en un tercer cultivo de calabacín recién trasplantado dentro del mismo invernadero. Se midió mediante 12 anemómetros sónicos la velocidad del aire a través de las cuatro ventanas del invernadero, dos laterales y dos cenitales. También se midió la temperatura y humedad del aire en 12 localizaciones dentro del invernadero situadas bajo las dos ventanas cenitales, la temperatura del suelo a 1, 10 y 20 cm de profundidad, el flujo de calor del suelo y la humedad a 20 cm de profundidad, la radiación solar y fotosintéticamente activa (PAR) tanto en el interior como en el exterior. En la zona del cultivo de pimiento se midieron los flujos de CO₂ y vapor de agua mediante un sistema IRGASON basado en la técnica de correlación de torbellinos. Las medidas realizadas indican que el aire fresco del exterior entra en el invernadero a través de las dos ventanas laterales y sale a mayor temperatura por las dos ventanas cenitales, siendo el flujo mayor a través de las ventanas de barlovento. La temperatura de las plantas de pimiento se mantiene siempre entre 2 y 10°C por encima de la del aire, concordando las medidas en continuo de la cámara termográfica, con las medidas puntuales del sensor de fotosíntesis.

Palabras clave: flujo de aire, evapotranspiración, temperatura, correlación de torbellinos.

Analysis of a crop in an Almeria greenhouse naturally ventilated with thermography, photosynthesis sensor, CO₂ flux and sonic anemometry

Abstract

Using thermography has been measured the temperature of pepper plants on sand mulching soil at an Almeria greenhouse of 5 spans with natural ventilation. We also measured temperature, stomatal resistance, evapotranspiration and photosynthesis with a portable photosynthesis system with leaf chamber. These parameters were measured in the pepper crop, in a second hydroponic tomato crop and a third crop of zucchini recently transplanted inside the same greenhouse. We measured air speed through the four greenhouse openings, with 12 sonic anemometers. Air temperature and humidity at 12 locations inside the greenhouse, placed under the two roof openings, the soil temperature to 1, 10 and 20 cm deep, the soil heat flow and soil moisture at 20 cm depth, solar and photosynthetically active radiations both inside and outside were also measured. CO₂ and water vapor flows were measured with an IRGASON system based on the eddy-covariance in the pepper crop area. The measurements indicate that the fresh air from the outside enters the greenhouse through the two side openings and higher temperatures out through the two roof vents. Airflow was largest in the windward openings. The pepper plants temperature always was between 2 and 10°C above the air temperature. Crop temperatures measured by the sensor of photosynthesis was in agreement with the continuous measurements using thermography.

Keywords: airflow, evapotranspiration, temperature, eddy-covariance.

Introducción

Los cultivos en invernadero situados en regiones cálidas pueden verse sometidos a situaciones de estrés durante las horas centrales del día del periodo primavera-verano. Cuando la ventilación del invernadero es insuficiente y el cultivo aún no tiene una masa foliar importante, las plantas pueden recibir una cantidad de energía muy elevada en forma de radiación solar que no son capaces de compensar con la transpiración (perdida de calor latente). En estas circunstancias la temperatura del cultivo sube por encima de la temperatura del aire para perder el exceso de energía en forma de calor sensible (Stanghellini, 1987; Yang, 1988). Este fenómeno se produce en invernaderos sin encalar (Baille *et al.*, 2001; Mashonjowa *et al.*, 2010), permitiendo el encalado reducir la trasmisividad de la cubierta al 30% lo que reduce la temperatura del cultivo por debajo de la del aire.

La ventilación del invernadero influye de forma decisiva en diversos aspectos que afectan al comportamiento fisiológico de las plantas. Por un lado un correcto nivel de ventilación permite mantener una adecuada concentración de CO₂ que contribuye a una mayor actividad fotosintética. En segundo lugar la renovación de aire reduce la humedad del aire interior favoreciendo la transpiración del cultivo y su refrigeración. Además, la ventilación del invernadero conlleva un aumento de la velocidad del aire que atraviesa el dosel vegetal, reduciendo su resistencia aerodinámica y favoreciendo la pérdida de calor desde las hojas al aire circundante. Por último, la ventilación permite reducir la temperatura del aire y la del cultivo (para un mismo flujo de calor sensible). Junto con la ventilación, el nivel de encalado de la cubierta (que determina la radiación incidente) y el índice de área foliar (que determina la relación entre la energía que absorbe el cultivo y la que puede eliminar a través de las hojas para refrigerarse), son los dos factores fundamentales que determinan cómo se comporta el cultivo.

El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto de la ventilación natural de un invernadero tipo Almería en las condiciones micro-climáticas interiores (temperatura, humedad y concentración de CO₂) y en la temperatura y la actividad fotosintética de tres cultivos (tomate, pimiento y calabacín).

Material y métodos

El efecto de la ventilación natural en el microclima y en el comportamiento del cultivo (temperatura, transpiración y fotosíntesis) se estudió en un invernadero tipo Almería de 5 módulos, con estructura en «raspa y amagado», la más utilizada en la provincia de Almería (Valera Martínez *et al.*, 2014). El invernadero experimental (Fig. 1) tiene una superficie de suelo cubierta de 1850 m² (volumen de 4770 m³) y está situado en el Campus de la Universidad de Almería (latitud: 36°50', longitud: 2°23', altitud: 2 m).

Se realizaron mediciones durante tres días consecutivos (10/3/2014 al 13/3/2014) con los sensores registrando datos con una frecuencia de 1 minuto. El invernadero funcionó con las dos ventanas laterales perpendiculares a los vientos dominantes de *Levante* con una superficie de ventilación lateral del 2% de la superficie de suelo cubierta y con las dos ventanas cenitales disponibles a su máxima capacidad (superficie de ventilación cenital del 2.1%). Las ventanas laterales estaban cubiertas con una malla anti-insectos de 10×16 hilos cm⁻² (porosidad de 0.39 con poros de 337.2 µm x 694.1 µm y diámetro de

hilo de 278.2 μm). Las dos ventanas cenitales tenían una malla menos tupida de 10x20 hilos cm^{-2} (porosidad de 0.34 con poros de 233.0 μm x 741.3 μm y diámetro de hilo de 271.9 μm).

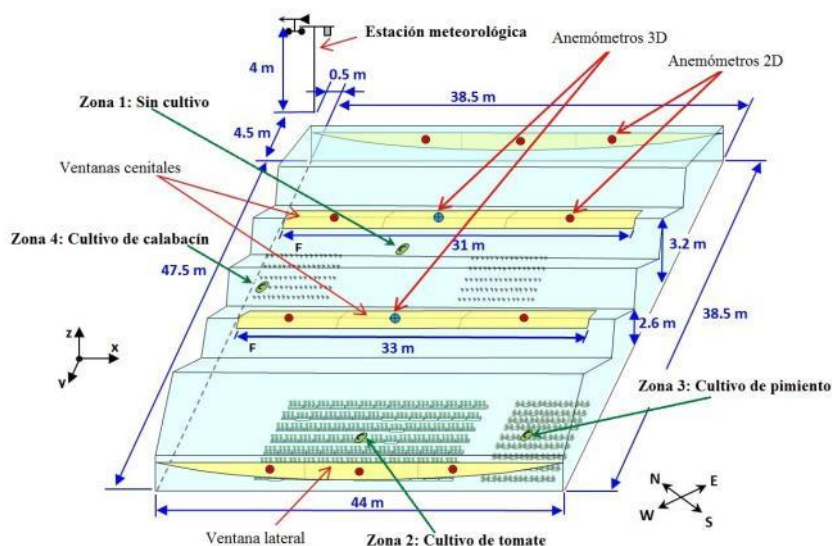


Figura 1. Esquema del invernadero tipo Almería con las zonas de medida (©) y la posición de los anemómetros bi-dimensionales (⊗) y tridimensionales (⊕).

En el momento de realizar los ensayos, se estaban desarrollando diversos experimentos agronómicos en el invernadero, por lo que se pueden distinguir cuatro zonas principales en su interior (Fig. 1): la zona 1 sin cultivo (Fig. 2a), la zona 2 ocupada por plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en sustrato de fibra de coco sobre acolchado agro-textil negro (Fig. 2b), la zona 3 (Fig. 2c) con un cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) y la zona 4 con un cultivo de calabacín (*Cucurbita pepo* L.) recién trasplantado, creciendo estos dos últimos en suelo arenado (Mendizabal y Verdejo, 1959), el más utilizado en la provincia (Valera-Martínez *et al.*, 2014).

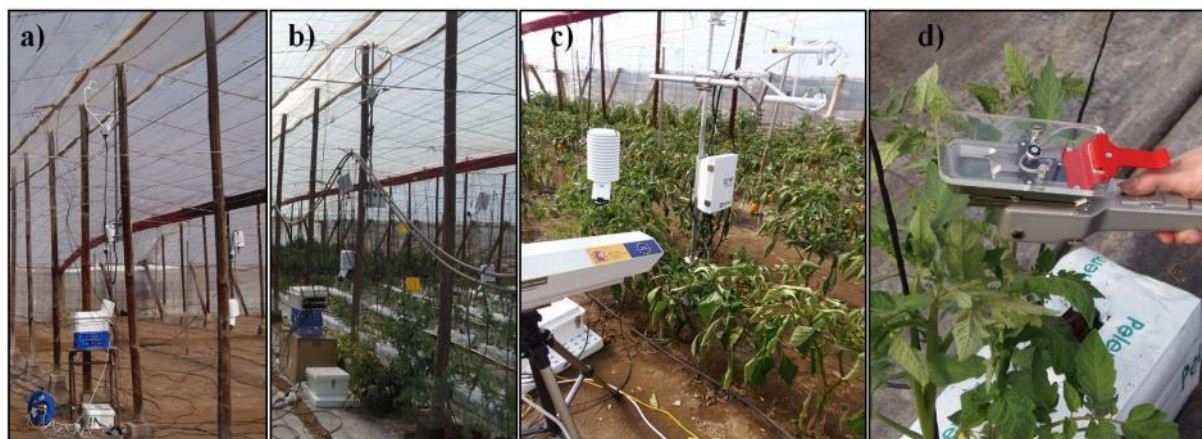


Figura 2. Sensores instalados en tres zonas del invernadero: sin cultivo (a), con cultivo de tomate (b) y con cultivo de pimiento (c). Sensor portátil para medida de la actividad fotosintética (d).

En las dos primeras zonas se utilizaron los mismos sensores para la medida de la temperatura y la humedad del aire en 6 puntos (Fig. 3a). La temperatura y la humedad del aire interior fueron medidos usando sensores CS215 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España) con un módulo multi-sensor SHT75 (Sensirion AG, Zúrich, Suiza)

basado en un semiconductor CMOSens®. El dispositivo incluye un sensor de temperatura de silicio (exactitud de ± 0.4 °C sobre el rango de medida de 5-40 °C) y un elemento sensor capacitivo de polímero de humedad relativa (precisión de $\pm 2\%$ en el rango 10-90% de HR y de $\pm 4\%$ en el intervalo 0 – 100%). Los sensores se colocaron dentro de 10 cajas de protección para la radiación solar 41003-5 (Campbell Scientific Spain S.L., Barcelona, España.). La radiación solar se midió dentro y fuera del invernadero mediante dos Piranómetros SP1110 (Campbell Scientific Spain S.L.) con un rango de sensibilidad de 350–1100 nm y con una precisión de $\pm 5\%$. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) también se midió en el exterior y el interior con dos sensores cuánticos SKP215 (Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, Reino Unido) con un rango de medida de 400–700 nm y una precisión de $\pm 5\%$.

En la tercera zona se analizó el comportamiento de un cultivo de pimiento con un sistema de covarianza de torbellinos de trayectoria abierta (*Open Path Eddy-Covarianza*, OPEP) y una cámara termográfica (Figs. 2c y 3b). El sistema OPEP (Campbell Scientific Spain S.L.) consta de un registrador de datos autónomo CR3000 y un IRGASON (analizador de gases CO₂/H₂O de trayectoria abierta integrado con un anemómetro sónico tridimensional). El analizador de gases por absorción de infrarrojos mide las densidades absolutas de CO₂ y H₂O, mientras que el anemómetro sónico mide los componentes ortogonales de la velocidad del aire. Los datos de las concentraciones de gases y de velocidad del IRGASON se miden con una frecuencia de 100 Hz y son sincronizadas por un módulo electrónico de covarianza de torbellinos EC100 (Figs. 2c y 3b).

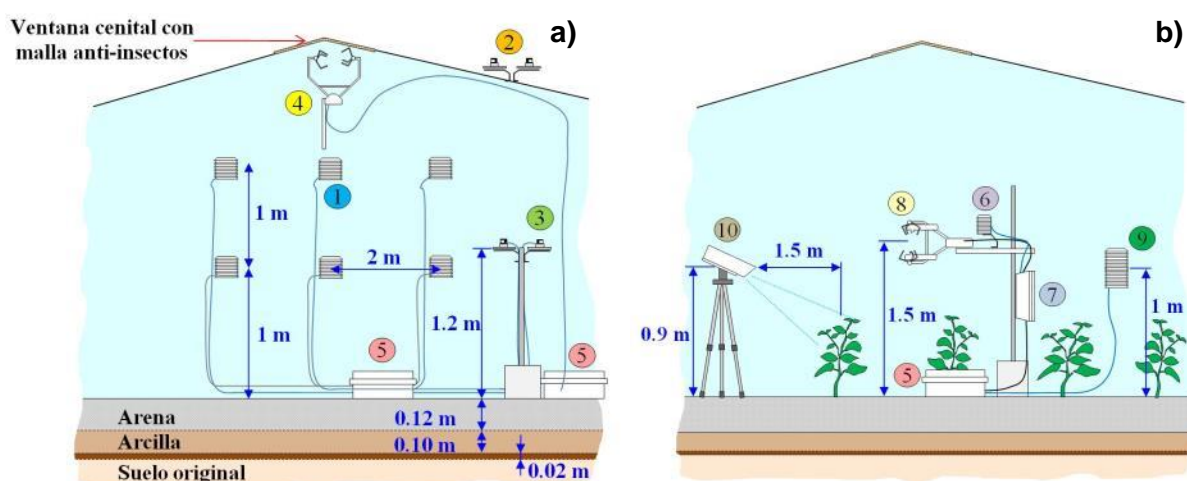


Figura 3. Esquema de los diferentes sensores instalados en las zonas 1 y 2 del invernadero (a) y la zona 3 (b): 1 - psicrómetros dentro de la caja de protección de radiación; 2 y 3 – piranómetro y sensor de radiación PAR; 4 – anemómetro sónico tridimensional; 5 – sistema de registro de datos; 6 – termistor dentro de la caja de protección para la radiación; 7 – módulo electrónico de covarianza de torbellinos con barómetro; 8 – IRGASON; 9 – psicrómetro dentro de caja de protección de radiación; 10 – cámara termográfica.

El analizador de gas tiene una precisión de $\pm 1\%$ y una precisión de medición de 0.2 mg m^{-3} ($0.15 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$) para la densidad de CO₂ para un rango de calibrado en fábrica de 0-1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Para la densidad de H₂O la exactitud es del $\pm 1\%$ y la precisión de 0.0035 g m^{-3} ($0.006 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$) para un rango de calibrado en fábrica de 0-72 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (punto de rocío a 37 °C). El anemómetro sónico 3D tiene rangos de medida y exactitudes en los tres ejes de $\pm 30 \text{ m s}^{-1}$ y $\pm 0.08 \text{ m s}^{-1}$ para u_x , $\pm 60 \text{ m s}^{-1}$ y $\pm 0.08 \text{ m s}^{-1}$

para u_y y $\pm 8 \text{ m s}^{-1}$ y $\pm 0.04 \text{ m s}^{-1}$ para u_z . El rango de medida de la temperatura sónica es de -50 – $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ con una precisión de $\pm 0.025^{\circ}\text{C}$. El sistema electrónico EC100 incluye un barómetro con una precisión de $\pm 3.7 \text{ kPa}$. El sistema IRGASON también dispone de un termistor 100K6A1A (Measurement Specialties Inc., Galway, Irlanda) para medir la temperatura de aire sobre el anemómetro sónico. Esta sonda de temperatura tiene una precisión de $\pm 0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para un rango de medida de -30 – $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y está protegido con un escudo de radiación naturalmente aspirado de 6 placas 41303-5B (Campbell Scientific Spain S.L.).

La temperatura del cultivo de pimiento se midió cada 5 min mediante una cámara termográfica ThermoVision™ A40-M (FLIR Systems AB, Danderyd, Suecia) con un rango espectral de 7.3 – $13 \mu\text{m}$ y una precisión $\pm 2\%$ (Fig. 2c y 3b). La emisividad del cultivo de pimiento (0.985) fue determinada en laboratorio (López *et al.*, 2012). La temperatura y humedad del aire por encima del dosel de pimiento (Fig. 3b) fueron medidas utilizando un sensor HC2S3 (Campbell Scientific Spain S.L.) con una sonda de temperatura RTD PT100 IEC 751 1/3 clase B con un rango de medida -50 – $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una precisión de $\pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y con un sensor de humedad ROTRONIC Hygromer® IN1 (ROTRONIC AG, Bassersdorf, Suiza) con un rango de medida de 0 – 100% y una precisión de $\pm 0\%$.

La velocidad del aire que circulaba a través de las 4 ventanas del invernadero se midió con tres anemómetros en cada ventana (Fig. 1). Para medir la temperatura de salida del aire del invernadero, en el centro de las dos ventanas cenitales se situaron los dos anemómetros sónicos 3D modelo CSAT3 (Campbell Scientific Spain S.L.) con precisión de $\pm 0.04 \text{ m s}^{-1}$ y $\pm 0.026 \text{ }^{\circ}\text{C}$; y una frecuencia de registro de 10 Hz . En el resto de puntos (Fig. 1) se instalaron 10 anemómetros sónicos 2D modelo Windsonic (Gill Instrument LTD, Lymington, Hampshire, Reino Unido) con una precisión de $\pm 2\%$ y $\pm 3^{\circ}$ (frecuencia de registro 1 Hz).

En las 3 zonas donde existían cultivos en el invernadero se midió la tasa fotosintética de las plantas mediante un medidor LCi Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, Hertfordshire, Reino Unido). Este sensor permite medir el ambiente de una hoja y calcular la actividad fotosintética. Posee un intervalo de medida de 0 – $2000 \text{ ppm (CO}_2\text{)}$, 0 – $75 \text{ mbar (H}_2\text{O)}$; y una precisión de $\pm 2\%$. El sistema también aporta medidas de temperatura de la hoja, de humedad, de radiación PAR y de presión atmosférica. A partir del caudal de aire conocido, se calcula la asimilación fotosintética y las tasas de transpiración, que se actualizan cada segundo, tardando 20 segundos por cada ciclo completo.

Resultados y Discusión

Temperatura del cultivo

La medida de la temperatura del cultivo de pimiento mediante las imágenes de la cámara termográfica permitió obtener la temperatura promedio de varias hojas a lo largo del tiempo (Figs. 4a-b). A lo largo de los tres días de ensayo se observa como el cultivo de pimiento mantiene una temperatura siempre superior a la del aire (Fig. 5a). Durante la noche la diferencia se reduce a 2 – $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pero durante el mediodía solar la temperatura del cultivo está entre 8 y 9°C por encima de la del aire (Fig. 5a).

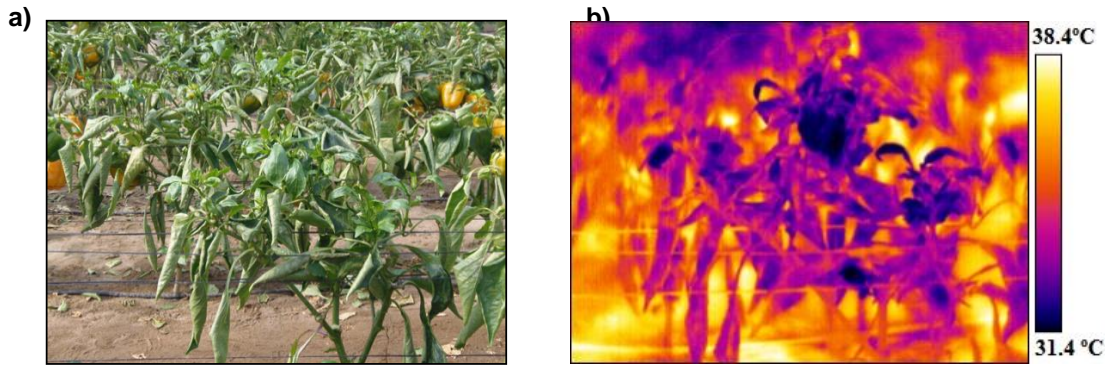


Figura 4. Imagen real (a) y termográfica del cultivo de pimiento (b).

Esto no suele ser lo más habitual en cultivos en invernaderos, aunque si ocurre cuando el invernadero no está blanqueado (Fig. 5b) y la radiación solar interior es elevada. En el caso analizado, el invernadero Almería en el mes de marzo aún no estaba blanqueado, siendo su coeficiente medio de transmisión a la radiación solar de $\tau_c=0.66$ (Fig. 6). Las medidas de temperatura foliar realizadas con el sensor portátil de fotosíntesis muestran que la temperatura del tomate en cultivo sin suelo (en sacos de fibra de coco) fue similar a la de los cultivos en suelo arenado, pimiento y calabacín (Tabla 1), aunque la diferencia de temperatura con el aire fue inferior (Fig. 5a) debido a que el tomate se encuentra en la parte de sotavento del invernadero donde entra menos aire fresco y la temperatura es algo mayor (Fig. 7a).

Tabla 1. Valores de la transpiración E , de la radiación fotosintéticamente activa R_{PAR} , de la temperatura del cultivo T_c , de la fotosíntesis A y de la conductancia estomática g_s medida mediante el sensor de fotosíntesis para los tres cultivos analizados. (Entre paréntesis valores de la evapotranspiración medidos con el IRGASON).

Fecha	Hora	Cultivo	I_{AF} [$m^2 m^{-2}$]	E [$W m^{-2}$]	R_{PAR} [$\mu mol m^{-2} s^{-1}$]	T_c [$^{\circ}C$]	A [$\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$]	g_s [$cm s^{-1}$]
11-3-14	12:19	Calabacín	0.01	2.1	645	35.8	7.52	0.45
11-3-14	12:21	Calabacín	0.01	2.2	683	35.6	7.1	0.50
11-3-14	12:23	Tomate	0.29	58.1	822	35.4	12.72	0.45
11-3-14	12:24	Tomate	0.29	60.4	758	35.4	15.46	0.45
11-3-14	12:26	Pimiento	0.23	36.0	825	35.9	8.64	0.28
11-3-14	12:27	Pimiento	0.23	39.7	867	35.8	12.32	0.33
12-3-14	12:00	Calabacín	0.01	1.4	268	28.4	5.16	0.51
12-3-14	12:01	Calabacín	0.01	1.4	378	28.7	5.61	0.46
12-3-14	12:04	Tomate	0.29	50.2	451	29.1	15.82	0.63
12-3-14	12:05	Tomate	0.29	48.4	428	29.4	11.06	0.56
12-3-14	12:07	Pimiento	0.23	26.9 (18.4)	381	30.6	6.7	0.29
12-3-14	12:09	Pimiento	0.23	29.3 (8.9)	405	29.4	7.94	0.34
13-3-14	12:00	Calabacín	0.01	1.8	881	30.2	13.37	0.64
13-3-14	12:01	Calabacín	0.01	1.5	1026	30.9	11.34	0.42
13-3-14	12:03	Tomate	0.29	45.8	760	31.2	16.76	0.42
13-3-14	12:05	Tomate	0.29	52.8	915	31.6	10.28	0.49
13-3-14	12:07	Pimiento	0.23	29.7 (3.0)	734	32.4	7.34	0.27
13-3-14	12:11	Pimiento	0.23	36.7 (0.4)	477	31.5	7.86	0.40

Los resultados obtenidos también contrastan con lo observado en el mismo invernadero realizados en abril de 2003 para un cultivo de melón (*Cucumis melo* L., cv. Galia) con un $I_{AF}=0.88 m^2 m^{-2}$, con una transmisividad de la cubierta encalada de $\tau_c=0.40$, cuya temperatura era entre 6 y 8 $^{\circ}C$ inferior a la del aire (Molina-Aiz, 2010). En este caso la baja transmisividad de la cubierta encalada suponía que la radiación solar incidente era insuficiente para compensar la pérdida de energía del cultivo por radiación de onda

larga y por transpiración. Por ello el cultivo descendía mucho su temperatura absorbiendo energía del aire en forma de calor sensible.

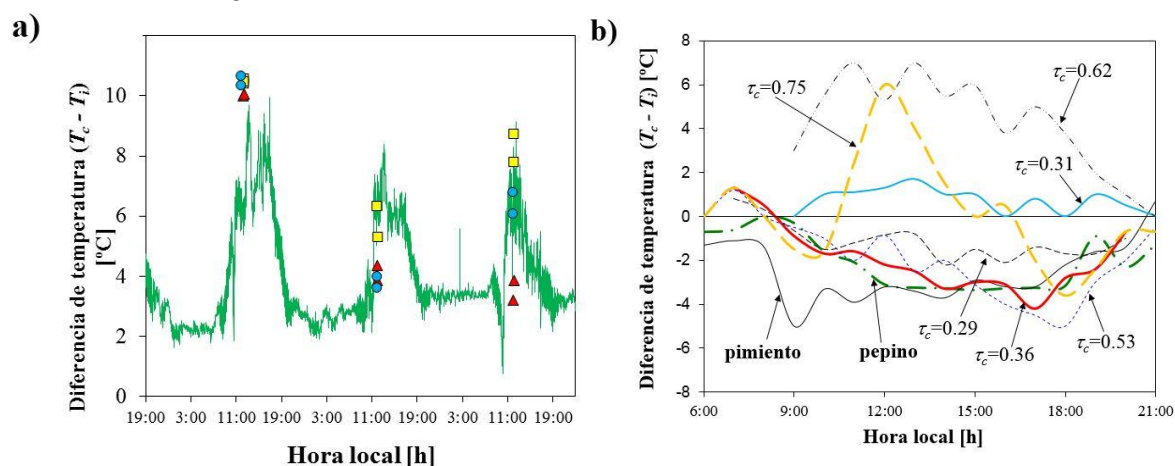


Figura 5. (a) Variación de la diferencia de temperatura entre el cultivo de pimienta (T_c) y el aire (T_i) (índice de área foliar, $I_{AF}=0.23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) medida continuamente con la cámara termográfica (—) y medida de forma instantánea al medio día con el sensor de fotosíntesis: para el cultivo de pimienta (■), para el cultivo hidropónico de tomate (▲) con $I_{AF}=0.29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ y para el cultivo de calabacín (●), una semana después de su trasplante ($I_{AF}=0.01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$). (b) diferencias de temperatura medidas por diferentes autores para varios cultivos en invernadero: dosel denso de rosas en sustrato ($I_{AF}=4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) en un invernadero con la cubierta blanqueada con una transmisividad de $\tau_c=0.36$ (—) y un dosel menos denso ($I_{AF}=2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) con $\tau_c=0.29$ (---) medido por Katsoulas et al. (2002); cultivo hidropónico poco denso de rosas ($I_{AF}=2.2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) antes del blanqueo de la cubierta, $\tau_c=0.62$ (—) y después de blanquear, $\tau_c=0.31$ (—) medidos por Baille et al. (2001); cultivo de pimienta creciendo en macetas con $I_{AF}=2.1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (—) medido por Katsoulas et al. (2006) y Katsoulas et al. (2007); rosa en hidropónico con la cubierta sin blanqueo, $\tau_c=0.75$ (—) y con blanqueo, $\tau_c=0.53$ (---) medidos por Mashonjowa et al. (2010); plantas de pepino (—●—) creciendo en bloques de lana de roca ($I_{AF}=2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) medidos por Yang et al. (1990).

De acuerdo con Stanghellini (1987) y Yang (1988), solo la mitad de la energía solar disponible sobre el cultivo puede ser interceptada y absorbida por las hojas de las plantas de un dosel con un índice de área foliar $I_{AF} < 2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Yang et al., 1990). Así la radiación solar sola no es suficiente para proporcionar la energía necesaria para la transpiración. Como consecuencia de esto, la temperatura del cultivo debe ser inferior a la del aire para extraer la energía restante del aire del invernadero (Fig. 5b). Así, para un cultivo de pepino (con un índice de área foliar $I_{AF} \approx 2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) la temperatura de las hojas del cultivo era inferior a la del aire, con la máxima diferencia fuertemente correlacionada con la máxima radiación solar (Yang et al., 1990). Fargues et al. (2005) también observaron valores de la temperatura media del cultivo de 0.8 a 2.3 °C inferior a la del aire.

Flujos de calor y actividad fotosintética

De las medidas de radiación solar y fotosintéticamente activa (PAR) se deduce que la radiación disponible en el interior del invernadero es muy elevada, en torno a 600 W m^{-2} al mediodía solar (Fig. 6a). Los valores máximos de radiación PAR dentro del invernadero fueron de $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, observándose una buena concordancia entre los valores medidos de forma continua por el sensor cuántico sobre el cultivo (Fig. 3a) y los valores puntuales medidos en las hojas de las plantas de los tres cultivos con el sensor portátil de fotosíntesis (Fig. 6b).

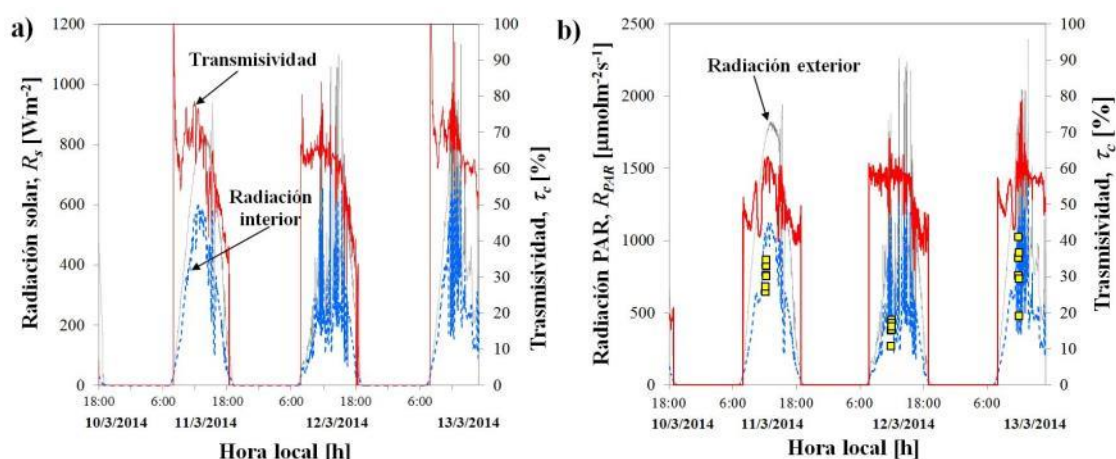


Figura 6. Radiación solar (a) y radiación fotosintéticamente activa (b) medidas fuera (....) y dentro (- - -) del invernadero y valores de la trasmisividad de la cubierta del invernadero (—). Valores de la radiación PAR medidos en las hojas de las plantas mediante el sensor portátil de fotosíntesis (■).

Un aspecto destacable es que la respuesta de los cultivos está determinada principalmente por las condiciones ambientales, observándose valores similares en la temperatura, la actividad fotosintética y la conductancia estomática (Tabla 1), a pesar de que se trata de tres cultivos diferentes, uno de ellos en sustrato y dos en suelo, y uno recién trasplantado al invernadero y dos más desarrollados. Pese a estas diferencias los tres cultivos muestran temperaturas similares debido a que esta depende fundamentalmente del nivel de radiación interior (igual para los tres cultivos) y de las condiciones de temperatura (Fig. 7a) y humedad (Fig. 7b), muy homogéneas como consecuencia de la correcta ventilación del invernadero y la buena circulación de aire desde los laterales a las ventanas cenitales.

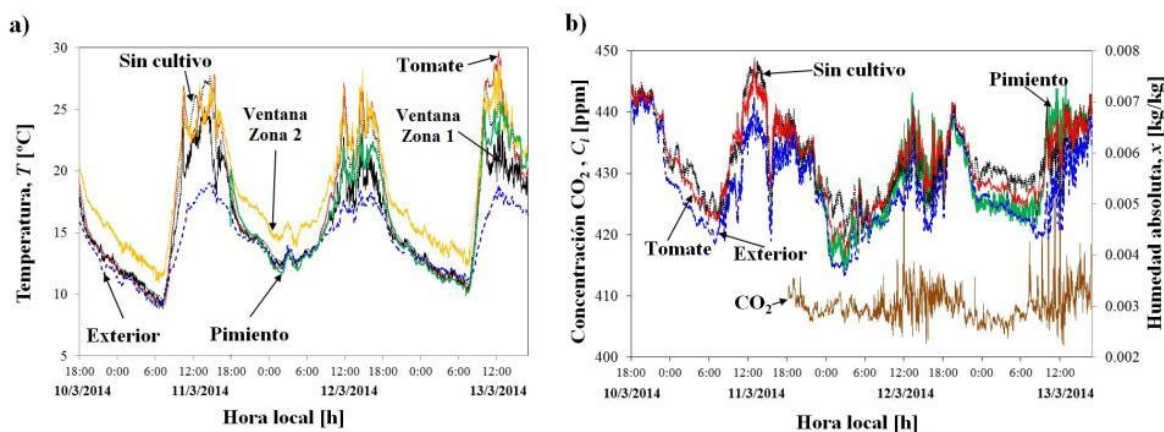


Figura 7. Temperaturas del aire (a) y humedades absolutas (b) en el exterior (---), en la zona 1 sin cultivo (....), en el centro de la ventana cenital SO sobre la zona 1 sin cultivo (—), en la zona 2 ocupada por el tomate (—), en el centro de la ventana cenital NE sobre la zona 2 del tomate (—) y en la zona 3 del pimiento (—). Concentración de CO₂ medida por el IRGASON (—).

Mediante la técnica de correlación de torbellinos el sensor IRGASON permite determinar el flujo de calor latente (Fig. 8a) y sensible (Fig. 8b) que se produce verticalmente desde el cultivo al aire. Este sensor también mide la concentración de CO₂ (Fig. 7b).

Sin embargo, aunque esta técnica ha sido utilizada con éxito en invernaderos de malla con plataneras (Tanny *et al.*, 2006), realizando las medidas a 5 m de altura, su uso dentro de invernaderos presenta el inconveniente de que existe un importante flujo de

calor latente y sensible en sentido horizontal. De esta forma el flujo de calor medido mediante esta técnica es inferior al real como se puede observar comparando los valores de transpiración medidos por el IRGASON (a 1.2 m sobre el suelo) con los medidos por el sensor de fotosíntesis en las hojas de pimiento (Tabla 1). Para obtener una mejor estimación de la transpiración con el IRGASON se deberían hacer medidas en un perfil vertical transversal al flujo de aire a través del cultivo. También hay que tener en cuenta la gran fluctuación del flujo vertical de calor medido mediante la técnica de correlación de torbellinos (Fig. 8) influenciada por la turbulencia del aire, mientras que los valores medidos en las hojas del cultivo parecen ser mucho más estables con ligeras variaciones entre diferentes hojas (Tabla 1).

Para elevados niveles de radiación solar, la energía absorbida por el cultivo supera al calor latente, resultando en un incremento de la temperatura de las plantas (Stanghellini, 1987; Marcelis, 1989). La transpiración incrementa de forma no lineal con el aumento de la radiación solar como consecuencia de la apertura estomática provocada por la luz, mientras que a elevados niveles de radiación el efecto en la transpiración se reduce debido al cierre de los estomas (Marcelis, 1989).

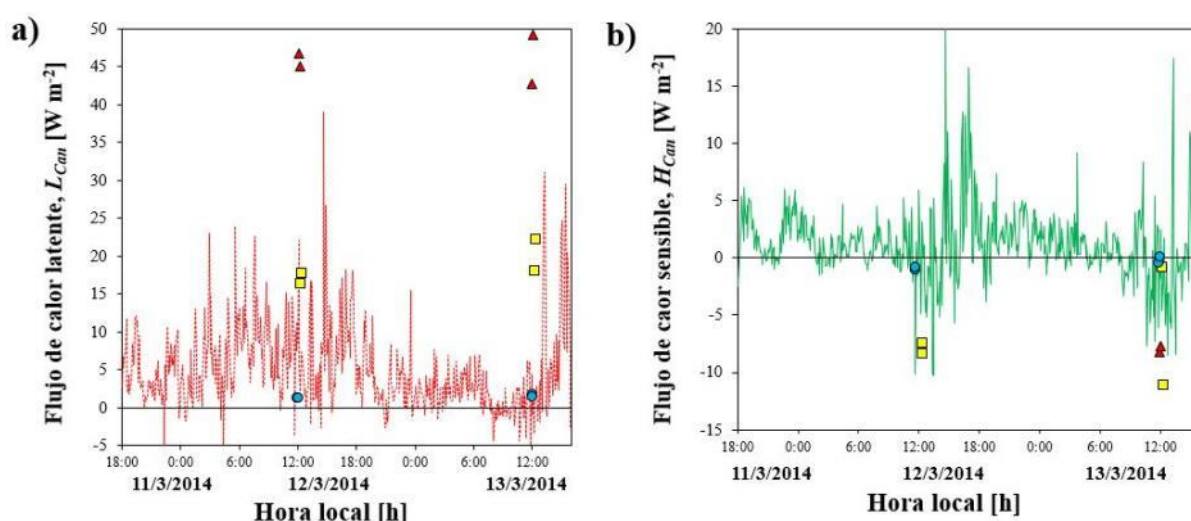


Figura 8. Flujos de calor latente (a) y sensible (b) sobre el cultivo de pimiento ($I_{AF}=0.23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) medidos continuamente mediante la técnica de correlación de torbellinos con el IRGASON y medidos de forma instantánea al medio día con el sensor de fotosíntesis: para el cultivo de pimiento (■), para el cultivo hidropónico de tomate (▲) con $I_{AF}=0.29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ y para el cultivo de calabacín (●), una semana después de su trasplante ($I_{AF}=0.01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Velocidad del aire en las ventanas

Mediante los 12 anemómetros sónicos situados en las cuatro ventanas del invernadero (Fig. 1) se midió la velocidad del aire perpendicular a las ventanas, observando una concordancia entre los tres anemómetros de cada ventana (Fig. 9). Además la velocidad del aire a su paso por las ventanas sigue exactamente el mismo patrón que el viento exterior que aumenta a lo largo del día de forma similar a la radiación solar con valores máximos al mediodía solar y mínimos durante la noche. Además, la velocidad del aire medida con el IRGASON en el interior del invernadero a 1.5 m del suelo en la zona ocupada por el cultivo de pimiento (Fig. 3b, sensor 8), es muy similar a las medidas en la ventana lateral suroeste situada a sotavento (Fig. 9b). En general, la ventilación permite eliminar el exceso de humedad dentro del invernadero y reducir la resistencia aerodinámica del dosel vegetal. Así, la tasa de transpiración del cultivo aumenta al

mediodía (Fig. 8a), cuando la radiación solar dentro del invernadero es máxima (Fig. 6a) y el viento sopla con más fuerza y en consecuencia aumenta la velocidad del aire a través de las ventanas y sobre el cultivo (Fig. 9).

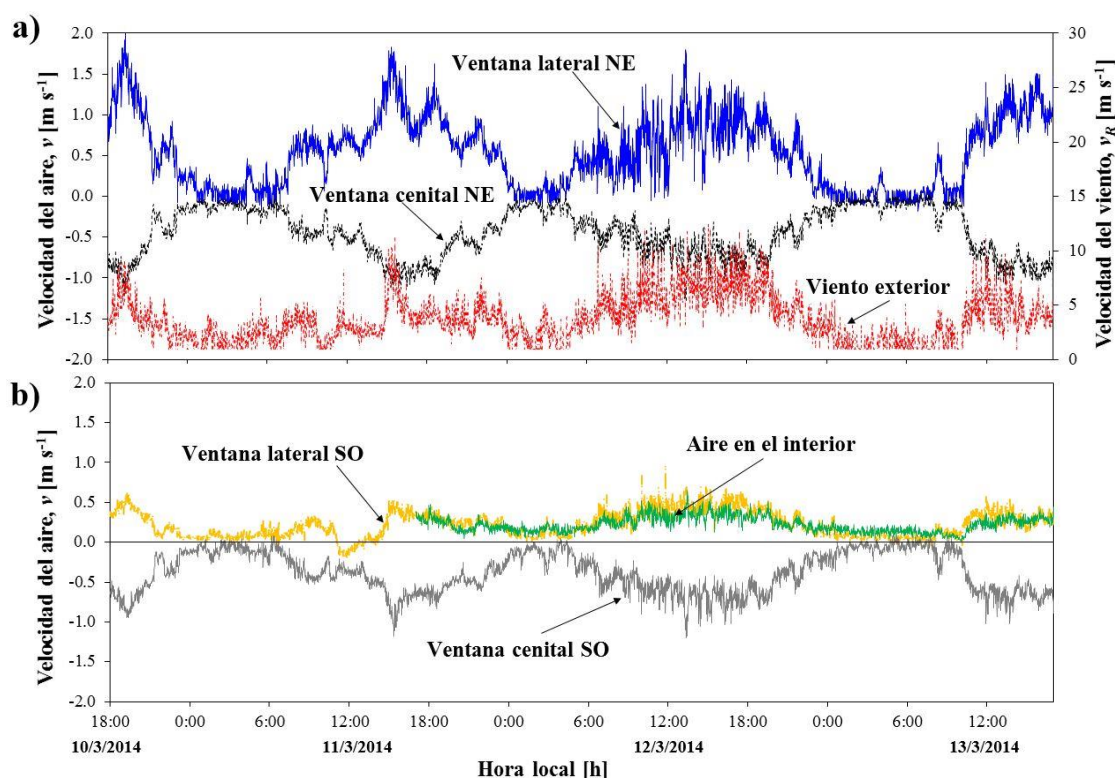


Figura 9. Velocidad del aire medida con los anemómetros sónicos en las ventanas del invernadero situadas a barlovento (a) y sotavento (b), y medida de la velocidad del aire interior medida con el IRGASON. Los valores positivos se corresponden con entrada de aire en el invernadero y los negativos con la salida.

Con viento de Levante (del Noreste) el aire entra por las dos ventanas laterales y sale por las dos cenitales, como ya fue observado en trabajos previos en el mismo invernadero experimental (Molina-Aiz, 2010). Este patrón de flujo se corresponde con el efecto chimenea que hace que el aire fresco del exterior entre por las ventanas situadas a menor altura, y una vez calentado con la energía del interior del invernadero, salga por las ventanas situadas a mayor altura (en este caso las cenitales). La velocidad del aire que entra es mayor en la ventana lateral noreste situada a barlovento y algo menor en la lateral suroeste de sotavento. Sin embargo, el flujo de salida es mucho más homogéneo, con velocidades muy parecidas entre las dos ventanas cenitales (Fig. 9).

Conclusiones

La temperatura y los niveles de transpiración y fotosíntesis de un cultivo de pimiento en suelo arenado (índice de área foliar, $I_{AF}=0.23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), uno hidropónico de tomate ($I_{AF}=0.29 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) y uno de calabacín recién trasplantado en suelo ($I_{AF}=0.01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) en un mismo invernadero tipo Almería con ventilación natural fueron muy similares. La actividad fotosintética de las plantas está directamente relacionada con la radiación solar incidente (determinada por el nivel de encalado de la cubierta plástica) y la concentración de CO_2 dentro del invernadero. Dada la baja densidad del cultivo, su estado inicial de desarrollo y la buena ventilación del invernadero que permite mantener niveles de CO_2 similares a los del exterior y valores de temperatura homogéneos, los

tres cultivos dentro del invernadero tienen condiciones parecidas por lo que su respuesta fotosintética es muy similar.

La temperatura de los tres cultivos se mantiene siempre entre 2 y 10°C por encima de la del aire, debido a que la transmisividad de la cubierta sin encalar ($\tau_c=0.66$) provoca niveles de radiación interior muy elevados. Las medidas en continuo de la cámara termográfica para el cultivo de pimiento concuerdan con las medidas puntuales del sensor de fotosíntesis. La transpiración de los tres cultivos y su temperatura también son parecidas puesto que la ventilación de invernadero permite mantener niveles de humedad y temperatura homogéneos en su interior.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación BITAL y al Grupo de Investigación Ingeniería Rural, por el apoyo prestado para el desarrollo de la experimentación.

Bibliografía

- Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 107, 293–306.
- Fargues, J., Smits, N., Rougier, M., Boulard, T., Ridray, G., Lagier, J., Jeannequin, B., Fatnassi, H., Mermier, M., 2005. Effect of microclimate heterogeneity and ventilation system on entomopathogenic hyphomycete infection of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) in Mediterranean greenhouse tomato. *Biological Control*. 32, 461–472.
- Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C., 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Biosystems Engineering*. 83 (3), 349–359.
- Katsoulas, N., Kitta, E., Kittas, C., Tsirogiannis, I.L., Stamati, E., Savvas, D., 2006. Greenhouse cooling by a fog system: Effects on microclimate and on production and quality of a soilless pepper crop. *Acta Horticulturae*. 719, 455–461.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Tsirogiannis, I.L., Kitta, E., Savvas, D., 2007. Greenhouse microclimate and soilless pepper crop production and quality as affected by a fog evaporative cooling system. *Transactions of the ASABE*. 50 (5), 1831–1840.
- López, A., Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., Peña, A., 2012. Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography. *Scientia Horticulturae*. 137, 49–58.
- Marcelis, L.F.M., 1989. Simulation of plant-water relations and photosynthesis of greenhouse crops. *Scientia Horticulturae*. 41, 9–18.
- Mashonjowa, E., Ronsse, F., Mhizha, T., Milford, J.R., Lemeur, R., Pieters, J.G., 2010. The effects of whitening and dust accumulation on the microclimate and canopy behaviour of rose plants (*Rosa hybrida*) in a greenhouse in Zimbabwe. *Solar Energy*. 84, 10–23.
- Mendizabal, M., Verdejo, G., 1959. Conservation de l'humidité et utilisation des sols salins par la culture sous sable ("arenado"). *Symposium on Plant-Water Relationships in Arid and Semi-arid Conditions*, Madrid (España), 24-30 Septiembre de 1959, 5 pp.
- Molina-Aiz, F.D., 2010. Simulación y modelación de la ventilación en invernaderos de Almería mediante la utilización de dinámica de fluidos computacional. Tesis Doctoral. Universidad de Almería (España), 868 pp.

- Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Tesis Doctoral. Agricultural University Wageningen (Países Bajos), 150 pp.
- Tanny, J., Haijun, L., Cohen, S., 2006. Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*. 139, 105–118.
- Valera Martínez, D.L., Belmonte Ureña, L.J., Molina Aiz, F.D. and López Martínez, A., 2014. Los invernaderos de Almería: Análisis de su tecnología y rentabilidad. Cajamar Caja Rural, Almería (España), 504 pp.
- Yang, X., 1988. Greenhouse microclimate: Transport processes, plant responses and dynamic modelling. Tesis Doctoral, Ohio State University, Columbus (EE.UU.), 290 pp.
- Yang, X., Short, T.H., Fox, R.D., Bauerle, W.L., 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. *Agricultural and Forest Meteorology*. 51, 197–209.

TI06 - Influencia del control climático y la estructura del invernadero, sobre el índice de área foliar y la actividad fotosintética.

Moreno, M.A.¹, Valera, D.L.¹, Molina-Aiz, F.D.¹, López, A.¹, Marín, P.¹

¹Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria BITAL. Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento, s/n. 04120 Almería, España. e-mail: mtm789@ual.es

Resumen:

En este trabajo se ha analizado la influencia sobre la actividad fotosintética y el índice de área foliar de dos cultivos de tomate (uno en ciclo de otoño-invierno y otro en primavera-verano) en dos tipos de estructuras de invernadero (tipo Almería y multitúnel) con ventilación natural. Además, el invernadero multitúnel con ventilación natural se ha comparado con otros dos invernaderos del mismo tipo estructural equipados con diferentes sistemas de calefacción (tuberías de agua caliente y aire caliente) en otoño-invierno, y con distintos sistemas de refrigeración (nebulización y paneles evaporadores) en el ciclo de primavera-verano. Los cuatro invernaderos están situados en el campo de prácticas de la Universidad de Almería, siendo los tres del tipo multitúnel de similares características. El invernadero Almería, de mayor superficie que los otros tres, tiene una estructura del subtipo “raspa y amagado”. El ensayo se desarrolló durante la campaña agrícola 2013/2014. En el ciclo de otoño-invierno se cultivó tomate de la variedad comercial Pitenza desde septiembre de 2013 a febrero de 2014 y en el ciclo de primavera-verano tomate de la variedad comercial Delica, de abril a julio de 2014. En el ciclo de otoño-invierno no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en la actividad fotosintética, ni para las diferentes estructuras de invernadero, ni para los sistemas de calefacción o ventilación. Sin embargo, en el ciclo de primavera-verano la actividad fotosintética fue estadísticamente inferior en el invernadero multitúnel con ventilación natural que en el multitúnel con nebulización. En ambos ciclos, el índice de área foliar del cultivo fue mayor (con diferencias estadísticamente significativas) en el invernadero multitúnel con ventilación natural que en los multitúnel con sistemas de climatización activa (calefacción y refrigeración) y el tipo Almería con ventilación natural.

Palabras clave: tomate, crecimiento, ventilación, calefacción, refrigeración.

Influence of climate control and type of greenhouse on leaf area index and photosynthetic activity.

Abstract:

In this work has been analysed the influence on the photosynthetic activity and the leaf area index of two tomato crops (one in autumn-winter season and another in spring-summer) of two types of greenhouse structures (Almería type and multispan) with natural ventilation. Moreover, the multispan greenhouse with natural ventilation has been compared with other two multispan greenhouses with two heating systems (pipelines of warm water and air heaters) in autumn-winter, and with two cooling systems (fog and pad-fan) in spring-summer. The four greenhouses are located in the experimental farm of the University of Almería. The three multispan greenhouses are similar characteristics. The Almería type greenhouse, with greater surface area than the other three, has a structure of subtype “raspa y amagado”. The test was carried out in the season 2013/2014. In the autumn-winter cycle a tomato Pitenza commercial variety was grown from September 2013 to February 2014 and in the spring-summer cycle tomato Delica commercial variety, from April to July of 2014. In the autumn-winter cycle, no statistically significant differences were obtained in the photosynthetic activity, neither between the different greenhouse structures nor between heating or ventilation systems. In the spring-summer cycle the photosynthetic activity was statistically lower in the multispan greenhouse with natural ventilation than in the multispan with fogging system. For both crop cycles, the leaf area index was higher (with statistically significant difference) in the multispan greenhouse naturally ventilated than in the multispan greenhouse with climate control systems (heating and cooling) and in the Almería greenhouse with natural ventilation.

Keywords: tomato, growth, ventilation, heating, cooling.

Introducción

La horticultura en la región del Mediterráneo actualmente se desarrolla en invernaderos poco tecnificados, carentes de control activo y de bajo consumo energético. En consecuencia, los resultados productivos están sujetos a la evolución del clima local por lo que se alejan considerablemente de su potencial. El reto de la horticultura en esta latitud está en elegir la tecnología adecuada para incrementar la producción y obtener productos de calidad y seguros, adoptando un sistema de cultivo sostenible (Lorenzo, 2012).

La fotosíntesis es el principal proceso fisiológico que impulsa el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos, además está muy influenciada por el medio ambiente (Yin *et al.*, 2009).

El índice de área foliar y la estructura del dosel vegetal o distribución espacial de los órganos aéreos de la planta determinan la intercepción de radiación. Las hojas y demás órganos fotosintetizadores sirven como colectores de radiación e intercambiadores de gases, los tallos soportan estas estructuras de forma que el intercambio radiativo y convectivo tenga lugar con eficacia (Lorenzo, 1996).

La temperatura es uno de los parámetros climáticos que mayor influencia ejercen sobre los cultivos al afectar a su crecimiento a través de la función fotosintética, la respiración y la transpiración. Por otro lado, su desarrollo se ve afectado por las temperaturas extremas que pueden dañar los tejidos (cuando se producen heladas) u originar malformaciones o desordenes fisiológicos. En invernadero no es normal que se lleguen a producir heladas por descenso de la temperatura del aire por debajo de los 0 °C (Valera *et al.*, 2002). Sin embargo, si suele ser frecuente que en el periodo invernal se alcancen durante la noche temperaturas por debajo de 10 °C, valor considerado como el límite superior por debajo del cual muchas especies hortícolas sufren daños y mermas importantes en su rendimiento (Von Zabeltitz, 1992)

Según Verlodt (1990) se establece el umbral de las temperaturas mínimas nocturnas entre 15-18.5 °C, por debajo de las que se necesitaría incorporación de calor para los cultivos de tomate, pimiento, pepino, melón y judía. En la mayoría de las áreas de producción hortícola, las estructuras de invernadero tienen que ser enfriadas en un mayor o menor grado a lo largo de la temporada de crecimiento. El método elegido depende del clima, la tecnología y los recursos disponibles (Bakker *et al.*, 2008). La elección de una mejor estructura no constituye usualmente una opción aislada, sino que se suele complementar con un equipamiento más sofisticado, con el empleo de mejores materiales de cerramiento, con cultivos en sustrato, etc. de modo que se mejora el conjunto (González Benavente *et al.*, 1998).

La ventilación natural es el principal medio de control de clima en los invernaderos de la provincia de Almería (Molina-Aiz, 2010), aunque continúa en la actualidad con valores inferiores a los recomendados (Valera *et al.* 2014). Según (Thongbai *et al.* 2010) un aumento en la circulación de aire de 0.3 a 1 m s⁻¹ tenía un efecto similar al aumento de la concentración de CO₂ de 273 a 545 mmol mol⁻¹ para aumentar la tasa de fotosíntesis neta un 62-76%. Además su estudio mostró que aumentando la concentración de CO₂ de 273 a 545 mmol mol⁻¹ y aumentando la circulación de aire de 0.3 a 1 m s⁻¹ al mismo tiempo se produce un aumento en la tasa de fotosíntesis neta en un 111%.

Consideramos que analizando la actividad fotosintética se pueden optimizar los parámetros de control del microclima de los invernaderos, así como la geometría de los armazones estructurales. Por otro lado, son muchos los autores (Verlode, 1990; Camejo *et al.*, 2005; Adams *et al.*, 2001; Muholland *et al.*, 2003; Saltveit, 2005) que han demostrado la relación directa entre la fotosíntesis y la producción; sin embargo, apenas existen estudios en cultivos en invernaderos, y menos aún relacionados con sistemas de calefacción, refrigeración, y con diferentes estructuras de invernaderos.

El objetivo de este ensayo es determinar la influencia que ejercen distintas técnicas de climatización en invernaderos de la zona mediterránea, sobre la actividad fotosintética y el índice de área foliar sobre un cultivo de tomate durante dos ciclos de cultivo. Además, a través del análisis de los dos parámetros anteriormente mencionados, se evaluarán los dos tipos de estructuras de invernadero predominantes en la zona mediterránea, como son el “multitúnel” y el tipo “Almería”.

Material y Métodos

Dispositivo experimental

El ensayo se realizó durante la campaña 2013-2014 en el campo de prácticas de la Universidad de Almería, situado en el paraje “Los Goterones” perteneciente al municipio de Almería, con localización geográfica 36° 50′ 41.00″ latitud Norte y 2° 13′ 4.32″ latitud Oeste (Fig. 1). El campo de prácticas posee una superficie de 11 hectáreas, los invernaderos allí instalados tienen distintos tipos de estructuras y, concretamente, este ensayo se desarrolló en tres invernaderos tipo multitúnel identificados en la finca como U9, U11 y U12, y un invernadero tipo Almería en su variante “raspa y amagado” identificado como U8.

Los tres invernaderos tipo multitúnel son similares en geometría, tipo de ventanas, orientación y dimensiones. Dos de estos invernaderos (U9 y U11) están constituidos por tres módulos de 8 m de anchura con ventanas cenitales en todos ellos. En uno de ellos hay ventanas laterales en los costados norte y sur, mientras que en lateral norte del otro invernadero se instalaron extractores de aire y en el Sur tiene una ventana lateral con un panel evaporador (*cooling system*). Las dimensiones de estos dos invernaderos son de 24×45 m (1080 m²). El tercer invernadero (U12) tiene una longitud similar de 45 m, pero su anchura es algo menor (18 m), al estar constituido por dos módulos de 9 m (810 m²). En este invernadero hay dos ventanas cenitales y dos laterales (una en el costado norte y otra en el sur). El cuarto es un invernadero Almería del subtipo “raspa y amagado” (U8) está junto a éstos y tiene unas dimensiones de 45×47 m (2115 m²). Posee ventilación lateral en todo su perímetro, además de tres ventanas cenitales.



Figura 1. Situación de los invernaderos analizados (U8, U9, U11, U12) en el campo de prácticas de la Universidad de Almería. Fuente: Google Earth.

Los cuatro invernaderos están ubicados muy cerca unos de otros, por lo que las condiciones climáticas externas son similares; siendo un factor clave ya que nos permite comparar el comportamiento de las dos estructuras y de los sistemas de climatización usados.

En ensayo consta de dos fases, en la primera se trata de comparar dos sistemas de calefacción frente a la ventilación natural y a su vez comparar dos tipos de estructuras de invernadero. Para esta primera fase se usó un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv Pitenza) de ciclo corto, que fue trasplantando el 5 de Septiembre de 2013.

La segunda fase del ensayo consistió en evaluar dos sistemas de refrigeración frente a la ventilación natural; y de igual forma que en la primera fase, también se compararon dos tipos de estructuras de invernadero. El cultivo usado fue tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv Delica) trasplantado el 2 de Abril de 2014.

En ambas fases (ciclos de cultivo), se utilizó un sistema de cultivo sin suelo, utilizando canaletas cuyo sustrato fue una mezcla de fibra de coco y turba. Las labores culturales, los tratamientos fitosanitarios y las aportaciones de agua mediante riego, fueron los mismos en los cuatro invernaderos.

Para la primera fase del ensayo (calefacción) se utilizó: el invernadero U9, con un sistema de calefacción por aire; el invernadero U11, con un sistema de calefacción por agua; y el invernadero U12 con ventilación natural usado como testigo. De igual forma para comparar las distintas estructuras de invernadero se usó el invernadero U12 tipo multitúnel y el invernadero U8 tipo Almería. El sistema de calefacción por agua está formado por una caldera de biomasa BIOSELECT350 (LASIAN Tecnología del Calor S.L.) con una potencia de 350 kW y un rendimiento del 91%, que permite trabajar con un salto térmico de hasta 15 °C con respecto a la temperatura exterior. El sistema de calefacción por aire consta de dos generadores de aire caliente por combustión indirecta GP80 (Munters Spain S.A.) de 88 kW de potencia nominal con un rendimiento térmico del 88.5 % y un caudal de aire de 5800 m³ h⁻¹. Los calefactores funcionan con

quemadores de gasoil RG2 Gulliver (Riello S.p.A.) con caudal variable de 4 a 10 kg h⁻¹ (de 47 a 119 kW).

Para la segunda fase del ensayo (refrigeración) se utilizó el invernadero U9, con sistema de refrigeración mediante paneles evaporadores; el invernadero U11, con un sistema de refrigeración mediante nebulización a baja presión y el invernadero U12 con ventilación natural usado como testigo; además determinaremos si existen diferencias en cuanto al tipo de estructura comparándolo con el invernadero U8 que es tipo Almería con ventilación natural. El sistema de nebulización empleado es de aire comprimido con un compresor rotativo de tornillo RTA10-8 (Puska Pneumatic, S.A.) con una potencia nominal de 7.5 kW, una presión de trabajo de 8 bares y un caudal de aire de 1.12 l min⁻¹. Dentro del invernadero se dispone de una red de nebulización con tuberías de agua y de aire que abastecen a las boquillas (0.1 boquillas m⁻²). El segundo sistema de refrigeración por evaporación de agua consta de paneles evaporadores CELdek® 7090-15 (Munters Spain S.A.) y 8 extractores EM50d (Munters Spain S.A.) de 735 W de potencia con un caudal nominal a 25 Pa de 31594 m³ h⁻¹.

La medida de la actividad fotosintética de las plantas se realizó mediante un medidor LCI Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, Hertfordshire, Reino Unido). El objetivo es medir el ambiente de una hoja y calcular la actividad fotosintética. Posee un intervalo de medida de 0-2000 ppm (CO₂) y 0-75 mbar (H₂O), con una precisión de $\pm 2\%$. El sistema también aporta medidas de temperatura de la hoja y del aire, humedad, radiación PAR y presión atmosférica. A partir del caudal de aire conocido, se calcula la asimilación y las tasas de transpiración, que se actualizan cada segundo, tardando 20 segundos por cada ciclo completo. Para la toma de mediciones con el sensor de fotosíntesis se programó un recorrido alterno teniendo en cuenta la estación del año y la orientación de los invernaderos, durante un periodo comprendido entre las 12 h y las 13 h del mediodía, para así conseguir condiciones climáticas similares. Se midieron 8 plantas por invernadero cada día, siendo estos días seleccionados en función de las condiciones exteriores óptimas de radiación.

La medida de índice de área foliar (I_{AF}), se llevó a cabo a través de un método indirecto y destructivo, hallándose el área foliar de una planta completa mediante imágenes foliolo a foliolo y su posterior tratamiento. Una vez determinada el área foliar de las hojas fotosintetizadoras se calculó el I_{AF} . La densidad de plantación fue de 1 planta/m².

Análisis estadístico

Para determinar si los datos en los cuatro invernaderos fueron diferentes estadísticamente se realizó un análisis de Pruebas de Rango Múltiple con un nivel de confianza del 95% mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Cuando existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar el análisis paramétrico no fue viable, lo cual se verificó mediante un análisis de la varianza mediante los test de Bartlett, C de Cochran y Hartley. Para la mayoría de los parámetros analizados no se cumplía la verificación de la varianza, realizando entonces análisis no-paramétricos mediante la Prueba de Friedman, apropiada cuando cada fila representa un bloque (en nuestro caso la fecha), y el análisis de las medianas usando el gráfico de Caja y Bigotes (STATPOINT, 1999).

Resultados y Discusión

Periodo otoño-invierno 2013-2014

El área foliar (L_A) juega un papel importante en el análisis del crecimiento de la planta. El L_A es necesaria para calcular varios modelos fisiológicos y agronómicos de índice de crecimiento como el índice de área foliar (I_{AF}), la tasa de asimilación neta (N_{AR}), el área foliar específica (S_{LA}) y la duración del área foliar (L_{AD}), así como variables implicadas en el desarrollo de la planta, la intercepción de luz, la eficacia fotosintética, la evapotranspiración, y las respuestas a los fertilizantes y el riego (Blanco y Folegatti, 2005; Lizaso *et al.*, 2003)

El índice de área foliar se comportó de forma muy similar a lo largo de todo el ensayo, siendo mayor en el invernadero U12 alcanzado un valor medio de $1.48 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ y el menor valor fue de $1.16 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ medido en el invernadero U9.

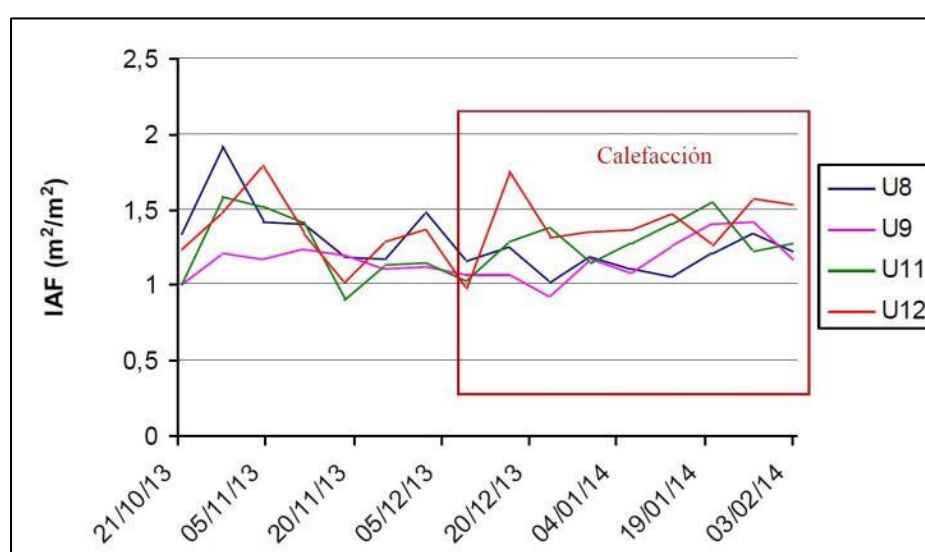


Figura 2. Evolución del I_{AF} a lo largo de la primera fase del ensayo (calefacción)

Una vez realizado el análisis estadístico de los datos de I_{AF} recopilados durante todo el ciclo de cultivo, estos nos muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de estructuras ensayadas, siendo mayor el I_{AF} en el invernadero U12 que es tipo multitúnel que en el invernadero U8 que es tipo Almería (Tabla 1).

Tabla1. Valores medios de la temperatura interior, T_i medida por el controlador climático cada 5 min (51990 datos); superficie de ventilación, S_v ; Promedio del índice de área foliar, I_{AF} para las 16 medidas realizadas en las plantas de cada invernadero en el cultivo de otoño-invierno.

Tratamientos	T_i (°C) *	S_v (%)	I_{AF} ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)
U8 (R+VN)	-	16.2	$1.28^a \pm 0.22$
U9 (M+CA)	$18.5^b \pm 7.35$	10.8	$1.16^a \pm 0.13$
U11 (M+CB)	$18.5^b \pm 6.84$	18.6	$1.27^a \pm 0.20$
U12 (M+VN)	$17.2^a \pm 6.85$	19.3	$1.48^b \pm 0.25$

^a Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa con el 95% de nivel de confianza. * Variables con análisis no paramétrico. Abreviaturas: VN: ventilación natural; CB: calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta. M: Invernadero tipo multitúnel; R: Invernadero tipo raspa y amagado.

Igualmente ocurre cuando realizamos el análisis para los diferentes tipos de calefacción o ventilación, aparecen diferencias estadísticamente significativas entre el invernadero U12 equipado únicamente con ventilación natural y los invernaderos U11 y U9 provistos de dos sistemas de calefacción; siendo en el U12 donde el I_{AF} es mayor. Como podemos observar, en el caso de los invernaderos multitúnel, el I_{AF} es mayor cuanto mayor es la superficie de ventilación del invernadero (U12 posee mayor tasa de ventilación que U11 y U9), que permite tener una temperatura media dentro del invernadero más baja (Tabla 1) al reducir las temperaturas extremas en las horas centrales del día.

La mayor actividad fotosintética se alcanzó en torno a los 80 días después del trasplante, siendo considerablemente más tardía que en otros estudios similares, como el desarrollado por Shishido *et al.* (1990), donde la mayor actividad fotosintética en plantas de tomate ocurrió en hojas jóvenes bien extendidas al inicio de la floración, a los 50 días después de la siembra.

A lo largo de todo el ensayo la actividad fotosintética siguió un patrón similar en los cuatro invernaderos utilizados, oscilando la actividad fotosintética media en valores próximos a los $14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, estando estos valores en todo momento dentro del intervalo establecido por Santiago *et al.*, (1998), oscilando entre $5\text{-}15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en un cultivo de tomate; aunque puede variar en función de la variedad. Al igual que ocurre con los valores de actividad fotosintética, la tasa de transpiración del cultivo se ha comportado de forma muy similar en todos los invernaderos en los que se ha desarrollado el ensayo, estando en torno a $3.30 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Atendiendo a la radiación PAR descrita durante el ciclo de cultivo, también se comportó de forma similar en todos los invernaderos usados para el ensayo, estando dentro de los valores de 440 y 680 nm en los que según López (1998) la fotosíntesis se realiza con mayor intensidad; siempre y cuando estén satisfechos otros requerimientos de la planta tales como temperatura, nutrientes, etc. La temperatura media descrita en la superficie de la hoja ha oscilado en torno a 27°C , estando en todo momento cerca del límite establecido por Abdul-Baki y Stommel (1995) y Sato *et al.*, (2000), donde la temperatura óptima para el cultivo de tomate es $21\text{-}27^\circ\text{C}$.

La concentración de CO_2 se ha oscilado entre 385-393 ppm, situándose próxima a la descrita por Lorenzo (1998). Esta concentración está muy próxima a la concentración exterior (410 ppm). Puesto que la magnitud de la fuente o elementos de la fotosíntesis depende principalmente de la radiación solar y la concentración de CO_2 , y la magnitud del sumidero depende principalmente de la temperatura, se hace necesario encontrar un equilibrio apropiado entre las tres (Kenig y Kramer, 2003).

Una vez obtenidos todos los datos, se ha realizado el análisis estadístico para determinar el comportamiento de la actividad fotosintética y otros parámetros relacionados con ésta a lo largo de nuestro estudio.

Tabla 2. Valores medios de las medidas realizadas con el sensor de fotosíntesis portátil en las 8 plantas de cada invernadero en el cultivo de otoño-invierno en 21 días de medida (168 datos por invernadero); tasa de actividad fotosintética, A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); radiación PAR incidente en la hoja, Q ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); tasa de transpiración, E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); temperatura de la superficie de la hoja, T_h ($^{\circ}\text{C}$); concentración de CO_2 en el ambiente de la hoja, C_h (ppm); conductancia estomática, C_s ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Tratamientos	A	Q*	E	T_h	C_h^*	C_s^*
U8 (R+VN)	$14.3^a \pm 3.44$	$547^a \pm 126.4$	$3.4^a \pm 1.08$	$26.9^a \pm 3.58$	$393^b \pm 17.9$	$0.32^b \pm 0.12$
U9 (M+CA)	$14.3^a \pm 3.62$	$520^a \pm 162.4$	$3.3^a \pm 1.13$	$27.3^{ab} \pm 3.82$	$391^{ab} \pm 16.9$	$0.29^a \pm 0.11$
U11 (M+CB)	$14.0^a \pm 3.50$	$520^a \pm 160.0$	$3.3^a \pm 0.97$	$27.7^b \pm 3.55$	$388^a \pm 14.6$	$0.30^a \pm 0.13$
U12 (M+VN)	$14.6^a \pm 3.02$	$547^a \pm 148.8$	$3.3^a \pm 1.14$	$27.1^{ab} \pm 3.49$	$390^{ab} \pm 14.8$	$0.29^a \pm 0.09$

^a Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa. * Variables con análisis no paramétrico. Abreviaturas: VN: ventilación natural; CB: calefacción por agua caliente con caldera de biomasa; CA: calefacción por aire caliente con generadores de aire caliente por combustión indirecta. M: Invernadero tipo multitúnel; R: Invernadero tipo raspa y amagado.

Según los resultados obtenidos tanto para la actividad fotosintética, la tasa de transpiración y la radiación PAR, no aparecen diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los invernaderos usados para el estudio, ni entre sistemas de calefacción o ventilación ni entre tipos de estructuras de invernaderos.

Una vez realizado el análisis estadístico de los valores de conductancia estomática desarrollados durante el ciclo de cultivo, observamos que aparecen diferencias estadísticamente significativas entre el invernadero U12 que es tipo “multitúnel” y el invernadero U8 que es tipo Almería, siendo en este último dónde la conductancia estomática es ligeramente mayor.

Periodo Primavera-verano 2014

El índice de área foliar se comportó de forma muy similar a lo largo de todo en ensayo, siendo mayor en el invernadero U12 alcanzado un valor medio de $1.72 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, y el menor valor fue de $1.10 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ descrito en el invernadero U8 (Fig. 3).

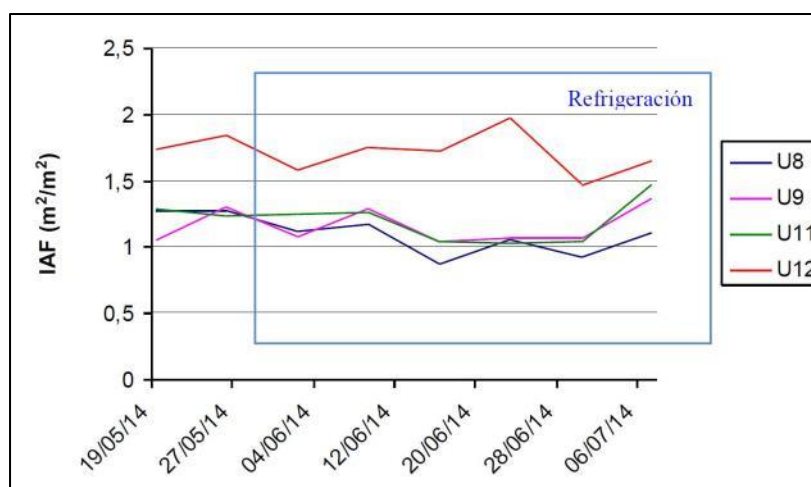


Figura 3. Evolución del I_{AF} a lo largo de la segunda fase del ensayo (refrigeración)

Una vez analizados de forma estadística los datos recopilados a lo largo del ciclo de cultivo, observamos que aparecen diferencias estadísticamente significativas entre los invernadero U9 y U11 ambos equipados con sistemas de refrigeración evaporativa, y el invernadero U12 equipado con ventilación natural únicamente, siendo mayores los valores descritos en este último (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios de la temperatura interior, T_i medida por el controlador climático cada 5 min (34828 datos) y temperatura media interior para el periodo en el que funcionaron los sistemas de refrigeración T_{IRF} (10929 datos en el periodo 1/6/2014 al 8/7/2014); superficie de ventilación, S_V ; Promedio del índice de área foliar, I_{AF} para las 8 medidas realizadas en las plantas de cada invernadero en el cultivo de primavera-verano.

Tratamientos	T_i (°C) *	T_{IRF} (°C) *	S_V (%)	I_{AF} (m ² /m ²)
U8 (R+VN)	-	-	16.2	1.10 ^a ± 0.15
U9 (M+PE)	24.2 ^b ± 6.47	23.9 ^b ± 4.28	10.8	1.16 ^a ± 0.13
U11 (M+NE)	24.9 ^c ± 8.08	24.5 ^c ± 5.00	18.6	1.20 ^a ± 0.16
U12 (M+VN)	23.9 ^a ± 7.74	23.6 ^a ± 4.56	19.3	1.72 ^b ± 0.15

^a Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa con el 95% de nivel de confianza. * Variables con análisis no paramétrico. Abreviaturas: VN: ventilación natural; NB: sistema de nebulización de baja presión; PE: paneles evaporadores; M: Invernadero tipo multitúnel; R: Invernadero tipo raspa y amagado.

De igual manera se muestran diferencias estadísticamente significativas entre el invernadero U8, el cual es tipo Almería, y el invernadero U12 que es tipo “multitúnel”, siendo en este donde los valores de I_{AF} son mayores. Al igual que ocurre en la primera fase del ensayo, el I_{AF} también es mayor cuanto mayor es la superficie de ventilación del invernadero, lo que permite tener temperaturas medias más bajas (estadísticamente significativas) tanto en el periodo completo como cuando se utilizaron sistemas de refrigeración evaporativos (Tabla 3).

Durante todo el ensayo la actividad fotosintética siguió un patrón similar en los cuatro invernaderos utilizados, variando la actividad fotosintética media entre 13-14 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La tasa de transpiración del cultivo ha oscilado entre 4-5 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, siendo mayor en el invernadero U8 y produciéndose los menores valores en el invernadero U12.

Atendiendo a la radiación PAR registrada durante el ciclo de cultivo, ésta alcanzó los mayores valores en el invernadero U8 estando próximos a 875 nm y los menores valores en el invernadero U12, estando los valores cercanos a 465 nm. Desarrollándose en el invernadero “raspa y amagado” valores por encima de los descritos por López (1998) situados entre 440-680 nm donde la fotosíntesis se realiza con mayor intensidad.

La temperatura media en la superficie de la hoja ha estado entre 32-35°C, siendo estas temperaturas superiores a las establecidas por Heuvelink y Dorais (2005) como óptimas para el crecimiento y desarrollo de tomate entre 18 y 25 °C.

La concentración de CO_2 osciló entre 365-372 ppm, estando estos valores por encima de los valores de concentración atmosférica (385 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), y muy por debajo de los valores de concentración CO_2 óptimos para la fotosíntesis que se sitúa entre 900-1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, lo que significa que la tasa de asimilación de carbono potencial está muy limitada por la actual concentración de CO_2 atmosférico (Lorenzo, 1996).

Tabla 4. . Valores medios de las medidas realizadas con el sensor de fotosíntesis portátil en las 8 plantas de cada invernadero en el cultivo de primavera-verano en 13 días de medida (104 datos por invernadero); tasa de actividad fotosintética, A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); radiación PAR incidente en la hoja, Q ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); tasa de transpiración, E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); temperatura de la superficie de la hoja, T_h ($^{\circ}\text{C}$); concentración de CO_2 en el ambiente de la hoja, C_h (ppm); conductancia estomática, C_s ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Tratamientos	A^*	Q^*	E^*	T_h	C_h^*	C_s^*
U8 (R+VN)	13.6 ^{ab} ± 3.62	874 ^c ± 270.1	5.0 ^c ± 1.40	34.2 ^b ± 2.92	365 ^a ± 11.8	0.40 ^b ± 0.37
U9 (M+PE)	13.6 ^{ab} ± 2.84	524 ^b ± 148.9	4.4 ^{ab} ± 0.96	32.8 ^a ± 2.90	372 ^b ± 11.0	0.31 ^a ± 0.13
U11 (M+NB)	14.2 ^b ± 2.71	567 ^b ± 127.8	4.7 ^b ± 1.06	32.7 ^a ± 2.88	372 ^b ± 9.7	0.35 ^{ab} ± 0.15
U12 (M+VN)	13.1 ^a ± 2.52	463 ^a ± 121.0	4.2 ^a ± 1.08	32.4 ^a ± 2.37	372 ^b ± 8.7	0.31 ^a ± 0.12

^a Letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos y letras distintas indican una diferencia estadísticamente significativa. * Variables con análisis no paramétrico. Abreviaturas: VN: ventilación natural; NB: sistema de nebulización de baja presión; PE: paneles evaporadores; M: Invernadero tipo multitúnel; R: Invernadero tipo raspa y amagado.

Una vez analizados de forma estadística los valores de actividad fotosintética, podemos observar que aparecen diferencias estadísticamente significativas en relación a los sistemas de climatización, siendo los mayores valores los descritos en el invernadero U11 equipado con un sistema de refrigeración mediante nebulización y los menores los registrados en el invernadero U12 contando únicamente con ventilación natural. Los invernaderos U9 y U8 muestran valores intermedios de actividad fotosintética. En cuanto al tipo de estructuras no se muestran diferencias estadísticamente significativas.

Atendiendo a los datos de radiación PAR recopilados a lo largo del ensayo, tras realizar el análisis estadístico de estos, podemos determinar que existen diferencias estadísticamente significativas comparando los tipos de estructuras de invernadero, siendo notablemente mayor en el invernadero denominado como U8, que es tipo Almería. También aparecen diferencias estadísticamente significativas entre los invernaderos con sistemas de refrigeración y el invernadero que cuenta únicamente con ventilación natural, siendo mayores los valores de radiación PAR descritos en los invernaderos refrigerados.

Los valores descritos en la tasa de transpiración del cultivo, una vez realizado el análisis estadístico, muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de estructuras de invernadero usadas para este estudio, siendo ligeramente superior en el invernadero tipo Almería. Comparando los sistemas de climatización, podemos determinar que existen diferencias estadísticamente significativas entre el invernadero U12 con ventilación natural y el invernadero U11 con un sistema de refrigeración por nebulización, siendo la tasa de transpiración mayor en este último.

Tras el análisis de los datos tomados a lo largo del ensayo tanto de temperatura de la superficie de la hoja como de concentración de CO_2 y de conductancia estomática, se comportan de manera similar, ya que muestran diferencias estadísticamente significativas comparando los dos tipos de estructuras de invernadero. La mayor temperatura en la superficie de la hoja se desarrolló en el invernadero U8 que es de tipo Almería, mientras que en los tres invernaderos tipo multitúnel fue similar, igualmente ocurrió con la conductancia estomática. En cuanto a la concentración de CO_2 , ésta fue mayor en los invernaderos multitúnel que en el invernadero tipo Almería. Comparando

los diferentes sistemas de climatización para los tres parámetros anteriormente mencionados no se muestran diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de refrigeración forzada y el sistema de ventilación natural.

Conclusiones

Existe una relación directa entre la superficie de ventilación de los invernaderos y el índice de área foliar (IAF) de los cultivos desarrollados en su interior. Los mayores valores de IAF, estadísticamente superiores a los otros tres invernaderos en los dos periodos de cultivo, se han registrado en el invernadero mejor ventilado (U12), multitúnel con mayor superficie de ventilación (19.3%).

Durante el ciclo de otoño-invierno no se han registrado diferencias estadísticamente significativas ni para la fotosíntesis ni para la transpiración entre ninguno de los cuatro invernaderos analizados. Sin embargo, en el ciclo primavera-verano aparecieron diferencias estadísticamente significativas entre el invernadero U11 (multitúnel con nebulización) y el invernadero U12 (multitúnel con ventilación natural), observándose en este último menor tasa fotosintética y transpiración que en el invernadero con nebulización, en el que la concentración de CO₂ fue mayor, aunque sin diferencias estadísticamente significativas.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación BITAL y al Grupo de Investigación Ingeniería Rural, por el apoyo prestado para el desarrollo de la experimentación.

Bibliografía

- Abdul-Baki A.A., Stommel J.R. 1995. Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum- and high-temperature regimes. *Horticulture Science*, 30, 115-117.
- Adams S.R., Cockshull K.E., Cave C.R.J. 2001. Effect of temperature on Growth and Development of Tomato Fruits. *Annals of Botany*, 88, 869-877.
- Bakker S., Adams S., Boulard T., Montero J.I. 2008. Innovative technologies for an efficient use of energy. *Italus Hortus*. 15, 25-36.
- Blanco F. F., Folegatti, M. V. 2005. Estimation of LA for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*, 62, 305-309.
- Camejo D., Rodríguez P., Morales M.A., Del'Amico J. M., Torrecillas A., Alarcón J.J. 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *Journal of Plant Physiology*, 162, 281-289.
- González-Benavente A., Conesa F.E., Fernández-Hernández, J.A., Pérez E.C., Rego J.O. 1998 Parnorama.
- Heuvelink E.; Dorais M. 2005. Crop Growth and Yield. Heuvelink. E. (ed.): Tomatoes. CABI Publishing. Cambridge. USA. 85-143.
- Kenig A., Kramer S., 2003. CO₂ enrichment in greenhouse production: Practice and bottlenecks. *Proceedings of the International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millennium. Acta Horticulturae*, 534, 221-230.
- Lizaso J. I., Batchelor W. D., Westgate M. E. 2003. A LA model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research*, 80, 1-17.
- López J. 1998. Perspectiva global sobre la agricultura en invernadero. En tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Dirección General de Investigación

- Agraria de la Junta de Andalucía y Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA). Almería: 15-29.
- Lorenzo P. 1996. Intercepción de luz, bioproductividad e intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de *Cucumis sativus* L. Almería. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. D.G.I.A. Monografías 17/96, 255.
- Lorenzo P., Medrano E. Sánchez-Guerrero M.C. 1998. Greenhouse crop transpiration: an implement to soilless irrigation management. *Acta Horticulturae*, 458, 113-119.
- Lorenzo P. 2012. El cultivo en invernadero y su relación con el clima. Cuaderno de Estudios Agroalimentarios (CEAO3).
- Molina-Aiz, F.D., 2010. Simulación y modelación de la ventilación en invernaderos de Almería mediante la utilización de dinámica de fluidos computacional. Tesis Doctoral. Universidad de Almería (España), 868 pp.
- Mulholland B.J., Edmondson R. , Fussel M., Basham J., Ho L.C. 2003. Effects of high temperature on tomato summer fruit quality. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78 (3), 365-374.
- Saltveit M. E. 2005. Fruit Ripening and Fruit Quality. Heuvelink. E. (ed.): Tomatoes. CABI Publishing. Cambridge. USA; 145-170.
- Santiago J., Mendoza M. Borrego F. 1998. Evaluación del tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 59-65.
- Sato S., Peet M.M., Thomas J. F. 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. under chronic, mild heat stress. *Plant, Cell and Environment*, 23, 719-726.
- Shishido Y., Arai K., Kumacura H., Yun C. J., Seyama N. 1990. Effects of developmental stages and topping on photosynthesis, translocation and distribution of 14 C-assimilates in tomato. *Bull. Nat. Res. Inst. Vegetables, Ornamental Plants and Tea*. 1, 63-73.
- STATPOINT 199. *STATGRAPHICS® v 4.0. Manual del Usuario*. StatPoint, Inc. Nueva York (EE.UU.).
- Thongbai P., Kozai T., Ohshima K. 2010. CO₂ and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 126, 338-344.
- Valera D.L., Belmonte L.J., Molina F.D., López A. 2014. Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad. Cajamar Caja Rural. 504pp. (Disponible on line en <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis-de-su-tecnologia-y-rentabilidad/>).
- Valera D.L., Molina-Aiz F.D., Peña A. 2002. Climatización de invernaderos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería. 233 pp.
- Verlode H. 1990. Greenhouses in Cyprus, protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO, Rome.
- Von Zabeltitz, CH. 1992. L'efficacité énergétique dans la conception des serres méditerranéennes. *Plasticulture*, 96, 6-16.
- Yin X., Harbinson J., Stuk P.C. 2009. Mathematical review of literature to assess ternative electron transports and interphotosystem excitation partitioning f steady-state C3 photosynthesis under limiting light. *Plant Cell and Environment*, 29, 1771-1782 (with corrigendum in *Plant, Cell and Environment*, 29, 2252)

TI07 - Aplicación informática para el cálculo del volumen de aplicación de productos fitosanitarios en cultivos hortícolas en invernadero.

Páez, F.¹, Rincón, V.C.², Sánchez-Hermosilla, J.², Fernández, M.M.¹, Pérez, J.²

¹Instituto de Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía, La Mojonera, Almería, España. franciscoc.paez@juntadeandalucia.es; ²Dpto. Ingeniería, Univ. Almería, Campus Excelencia Internacional Agroalimentario (CEIA3). jusanche@ual.es

Resumen:

El empleo de fitosanitarios sigue siendo la alternativa más utilizada para el control de plagas y enfermedades en los cultivos hortícolas bajo invernadero, situación que requiere mejoras en la seguridad y eficiencia de los sistemas de aplicación. En este contexto resulta imprescindible realizar tratamientos optimizados desde un punto de vista técnico y agronómico. En la actualidad, en las etiquetas de los envases fitosanitarios, no viene expresada la cantidad de producto que se debe aplicar en función del tamaño de la planta, sino que aparece la concentración o el volumen de caldo a aplicar por unidad de superficie en función del tipo de cultivo. En invernadero, los cultivos tienen un crecimiento rápido, por lo que, una tasa de aplicación basada en una cantidad fija de producto por unidad de superficie puede dar como resultado grandes pérdidas y/o sobredosis de producto en los primeros estadios de crecimiento, o tasas insuficientes cuando el cultivo esté completamente desarrollado. Por tanto, para resolver estos problemas, el volumen de aplicación debe estar adaptado a la masa vegetal presente en el invernadero cuando se realice el tratamiento. Con este fin, se ha desarrollado una aplicación informática cuyo objetivo es facilitar el cálculo de los volúmenes de aplicación en función del índice caracterizador de la masa vegetal "Plant Row Volume" (PRV). El uso de esta aplicación es sencillo, todos los cálculos se realizan de forma automática a partir de una serie de datos introducidos por el usuario, relacionados con el tipo de equipo a utilizar, las características del cultivo y del fitosanitario. Como resultado, la aplicación generará un informe, con datos útiles para una correcta aplicación y racionalización del producto fitosanitario, como el volumen a aplicar, la velocidad de avance, la presión de trabajo, además de recomendaciones relacionadas con el buen uso de los equipos.

Palabras clave: Volumen de aplicación, fitosanitario, invernadero

Computer tool for application rate calculation on greenhouse horticultural crops.

Abstract:

Plant protection products (PPP) are still the most used alternative for pest and disease management in horticultural greenhouse crops, therefore an improvement on safety and efficiency of PPP application methods is necessary. In that context carry out optimized PPP applications, from both technical and agronomic point of view, is essential. Nowadays, containers labels don't indicate the PPP amount to use in relation to plant size, showing instead, concentration or rate for unit area depending on the crop. Greenhouses crops grow quickly up, so an application rate based on a fixed amount per area unit may result on high losses on soil, product overdose on the first crop stages, or a low rate on fully developed crops. Therefore to solve these problems the application rate must be adapted to the crop size at the treatment moment. For this purpose, has been developed a computer tool whose main objective is to provide the application rate calculation based on crop characterization index "Plant Row Volume" (PRV). This is an easy computer tool, all the calculations are made automatically from some inserted data by user: spray application equipment, crop and PPP characteristics. As a result, the computer tool will generate a report file, with useful information for an optimized spray application: application rate, forward velocity, work pressure, and some recommendations about a good equipment use.

Keywords: Application rate, plant protection product, greenhouse

Introducción

Las especiales características de los cultivos hortícolas bajo plástico, como el tomate (*Solanum Lycopersicum* L.), (ciclos de cultivo cortos, rápido desarrollo de la masa foliar, alta densidad de plantación), y el hecho de tratar un volumen de vegetación, que varía de forma importante durante el ciclo de cultivo, y no una superficie de terreno, hacen necesarios la búsqueda de herramientas sencillas de utilizar por parte del agricultor que permitan calcular el volumen de aplicación en función de la masa vegetal del cultivo, reduciendo así la cantidad de agroquímico a utilizar y, por lo tanto, el costo de control de la plaga o enfermedad y los impactos ambientales causados por los agentes fitosanitarios. La determinación del volumen de vegetación y su posterior relación con el volumen de caldo es la base de las técnicas de “Pulverización Adaptada al Cultivo” (Crop Adapted Spraying, CAS) ampliamente discutida por diversos autores (Walklate *et al.*, 2003; Gil *et al.*, 2005; Godyn *et al.*, 2005; Siegfried *et al.*, 2007; Pergher y Petris, 2008), siendo su principal objetivo conseguir mantener constante la cantidad de producto depositado sobre cada órgano de la planta, independientemente de la altura o porte del cultivo.

Se han desarrollado diferentes métodos para solventar los problemas de ajustar el volumen de aplicación en función del desarrollo vegetativo del cultivo. Uno de estos métodos es el “Tree Row Volume” (TRV) (Byers *et al.*, 1971) consistente en determinar el volumen de aplicación, comparando el volumen de vegetación por unidad de superficie con el volumen aplicado en un cultivo definido como estándar. Este método ha permitido determinar los volúmenes de aplicación de forma más racional en determinadas plantaciones frutales (Sutton y Unrath 1988; Manktelow y Praat, 1997; Rüegg *et al.*, 1999). Un sistema más simplificado fue propuesto por Furness *et al.* (1998), denominado “Unit Canopy Row” (UCR), en el que el volumen de aplicación se determina por cada por cada unidad de 100 m³ de vegetación, correspondiente a un cubo de 1 m de ancho por 1 m de alto y 100 m de largo. Otros autores (Dammer *et al.*, 2008; Pergher y Petris, 2008; Gil y Escolà, 2009) utilizan el “Índice de Área Foliar” (LAI), para establecer el volumen de aplicación. El LAI es un parámetro que refleja con exactitud la cantidad de vegetación que presenta el cultivo, sin embargo su cálculo es poco práctico y supone la destrucción de plantas.

Trabajos realizados en los últimos años ha conducido a un nuevo sistema de recomendación del volumen de aplicación adaptado a plantaciones frutales. Se trata de los modelos DOSA, en sus versiones aplicadas al viñedo (DOSAVIÑA) y a los frutales (DOSAFRUT). DOSAFRUT incluye los aspectos estructurales del cultivo, características del producto, aspectos relacionados con la naturaleza del organismo a controlar y su localización, parámetros ambientales, condiciones operativas y del equipo de aplicación. Los fundamentos del sistema y los resultados de los sucesivos ensayos de contrastación del sistema DOSAFRUT han sido difundidos en diferentes ocasiones (Planas *et al.*, 2011a y 2011b) y es fácilmente utilizable a escala productiva.

Con respecto a los sistemas para la recomendación de la dosis en viñedos en espaldera DOSAVIÑA y OPTIDOSE, en las que se consideran las dimensiones de la vegetación y la frondosidad, se dispone de resultados satisfactorios en el control de enfermedades en viñedo (Gil *et al.*, 2011; Davy, 2011). Su utilización ha supuesto una reducción de un 39,9% del volumen aplicado respecto a la aplicación convencional, con valores similares

o incluso superiores de deposición y de uniformidad, sin presentar diferencias en el control de enfermedades.

El objetivo del presente trabajo consiste en desarrollar una aplicación informática que permita estimar los volúmenes de aplicación de fitosanitarios, en cultivo de tomate en invernadero, en función de parámetros geométricos de la masa vegetal fácilmente medibles. Esta herramienta se ha diseñado a partir del modelo de dosificación adaptado a la masa vegetal desarrollado por Sánchez-Hermosilla *et al.* (2013), facilitando al usuario final su uso, y permitiendo así, la racionalización de la aplicación de fitosanitarios.

Materiales y Métodos

El cálculo del volumen de aplicación, en cultivo de tomate en invernadero, se va realizar a partir del modelo de dosificación desarrollado por Sánchez-Hermosilla *et al.* (2013) basado en la determinación de la masa vegetal del cultivo a tratar mediante el cálculo del “Plant Row Volume” (*PRV*) y la deposición media de referencia de producto fitosanitario sobre hoja necesaria para el control de las distintas plagas y enfermedades. El *PRV* se define como el volumen de vegetación por unidad de superficie cultivada expresado en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Para el caso de tomate en invernadero, debido a la geometría del cultivo, el volumen de la vegetación se calcula como la suma de los volúmenes de 6 prismas de base rectangular (2 por cada 1/3 de la altura). Las variables geométricas necesarias para determinar este índice son la altura y anchura de la masa vegetal y el marco de plantación (Figura 1), y se calcula según la Ecuación (1).

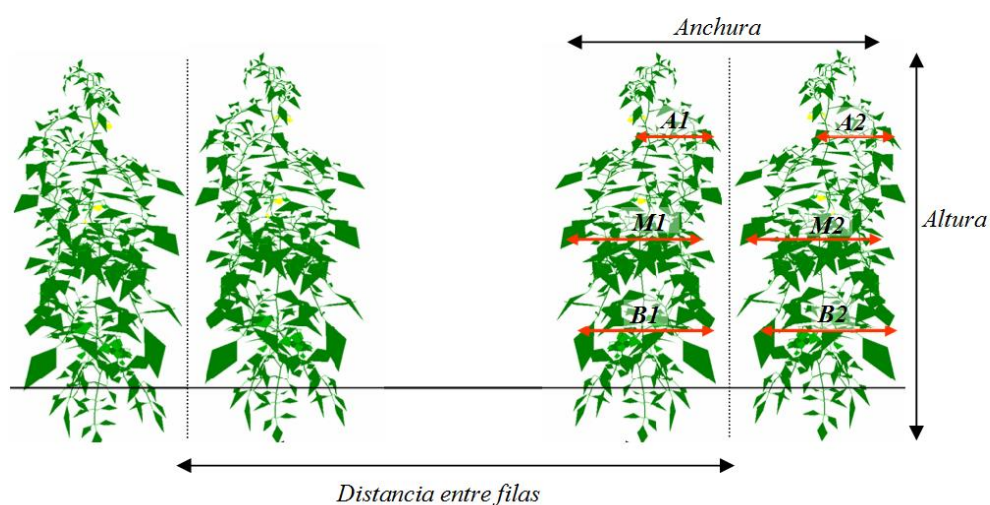


Figura 1. Esquema de parámetros necesarios para el cálculo del *PRV*

$$PRV = \frac{10.000 \cdot H \cdot [(B_1 + B_2) + (M_1 + M_2) + (A_1 + A_2)]}{3 \cdot D} \quad (1)$$

Donde *PRV* es el Plant Row Volume (en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), *H* es la altura de la masa vegetal (en m), *B*₁ y *B*₂ la medida de la anchura a altura baja (en m), *M*₁ y *M*₂ la medida de la anchura a altura media (en m), *A*₁ y *A*₂ la medida de la anchura a altura alta (en m) y *D* la distancia entre líneas (en m). Este índice está estrechamente correlacionado con el LAI, en un cultivo de tomate en invernadero, mediante una relación potencial (Ecuación

2) (Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2013), lo que permite la estimación del LAI a partir de medidas geométricas sencillas sobre la masa vegetal.

$$LAI = 0,35 \cdot 10^{-4} \cdot (PRV)^{1,25} \quad (R^2=0,94) \quad (2)$$

Pergher y Petris (2008) proponen un modelo de dosificación basado en la deposición media de fitosanitario en la masa vegetal, que permite el cálculo de la cantidad de producto a pulverizar (Q , en $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$) a partir del LAI , la deposición media de producto sobre las hojas (d_m , en $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) y la tasa de recuperación (ε) (Ecuación 3).

$$Q = \frac{2 \cdot 10^2 \cdot d_m \cdot LAI}{\varepsilon} \quad (3)$$

En el trabajo realizado por Sánchez-Hermosilla *et al.* (2013) el valor de d_m corresponde a la deposición media obtenida por los agricultores en su práctica habitual en un cultivo de tomate, consistente en aplicar con pistola pulverizadora a elevadas presiones. Este valor se determinó experimentalmente junto con la tasa de recuperación. Una vez determinado el valor de d_m y para una concentración conocida de solución aplicada, se adaptó la Ecuación (3) para obtener el volumen de aplicación en $\text{L} \cdot \text{ha}^{-1}$, además de sustituir el LAI por la Ecuación (2) y los parámetros de deposición de media y tasa de recuperación según el equipo utilizado por los calculados experimentalmente (Ecuación 4).

$$V = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot d_v \cdot PRV^{1,25}}{\varepsilon} \quad (4)$$

Donde V es el volumen de aplicación (en $\text{L} \cdot \text{ha}^{-1}$), d_v es la deposición media ($1,5 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$), PRV es el volumen de vegetación (en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) y ε la tasa de recuperación según el equipo utilizado (50% para pistola pulverizadora y 75% para barra vertical)

Resultados y Discusión

Se ha desarrollado una aplicación informática que puede ser consultada por los usuarios, bien como página Web o como hoja de cálculo (Microsoft Excel®), cuyo objetivo es facilitar el uso del modelo de dosificación adaptado al PRV , permitiendo así el cálculo del volumen de aplicación y de los parámetros operacionales necesarios durante el tratamiento. En un principio está diseñada para cultivo de tomate en invernadero, pero con la posibilidad de poder ser implementada para distintos cultivos hortícolas en invernadero. En la actualidad se está trabajando con el cultivo de pimiento. El uso de esta aplicación es sencillo, todos los cálculos se realizarán de forma automática a partir de una serie de datos introducidos por el usuario, relacionados con el tipo de equipo a utilizar, las características del cultivo (altura y anchura de la masa vegetal, distancia entre filas, disposición del cultivo...), y características del producto. Como resultado, la aplicación generará un informe, donde aparecerán datos útiles para una correcta aplicación y racionalización de productos fitosanitarios, como son el volumen a aplicar, la velocidad de avance, la presión de trabajo, el caudal desaguado... además de recomendaciones para una aplicación más eficiente. El siguiente diagrama (Figura 2) representa de forma gráfica un resumen de las distintas secciones que componen la aplicación, con los datos más significativos de entrada y salida, sus interacciones y parámetros calculados correspondientes.

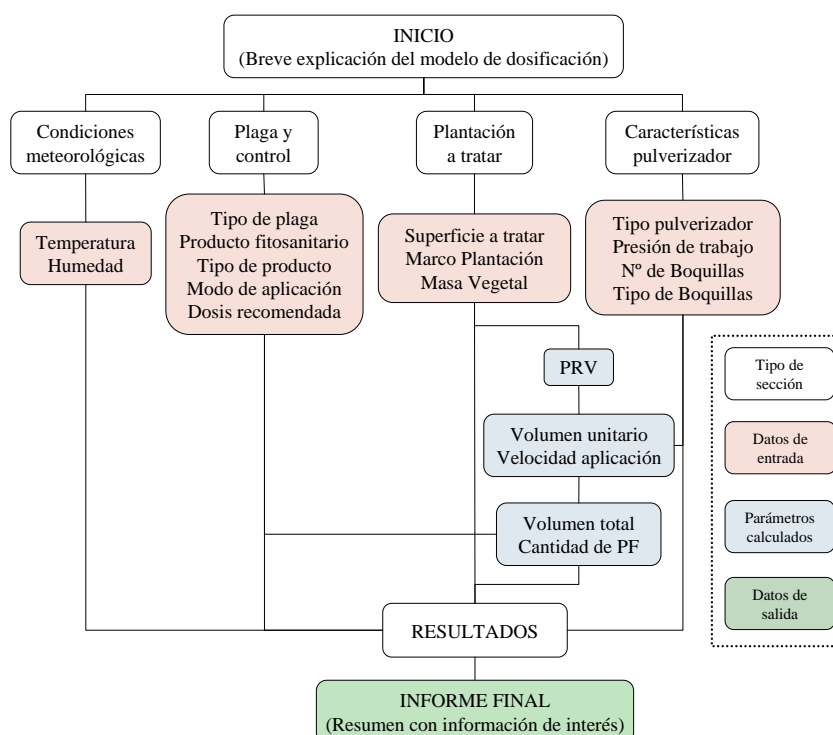


Figura 2. Diagrama resumen del funcionamiento de la aplicación.

En total la aplicación se compone de 6 secciones, pantallas o pasos donde el usuario tendrá que interaccionar con el sistema introduciendo datos y contestando a preguntas que se le formulan:

1ª Sección “INICIO” (Figura 3): Donde el usuario podrá descargar un formulario para recopilar en campo todos los datos necesarios para el cálculo de los diferentes parámetros, además desde esta sección se podrá acceder a una breve explicación del modelo de dosificación.

Tabla 1. Datos de entrada sección “Plaga y/o enfermedad a controlar

Datos a introducir	Descripción
Plaga o enfermedad a controlar	Nombre o denominación de la plaga o enfermedad a controlar.
Tipo de producto	En función del agente sobre el que se actúa (insecticida o fungicida).
Nombre comercial o materia activa	Nombre comercial del producto o principio activo que lo compone.
Modo de aplicación	En función de su comportamiento en la planta (sistémico, contacto o translaminar).
Dosis recomendada por el fabricante	Dosis que recomienda el fabricante y que no se debe sobrepasar.
Volumen máximo recomendado (L·ha ⁻¹)	Volumen máximo recomendado por el fabricante y que no se debe sobrepasar.
Acción de coadyuvantes	Tipo de coadyuvante utilizado.

2ª Sección “Plaga o enfermedad y control” (Figura 4): En este apartado el usuario introducirá datos que serán necesarios para el cálculo de parámetros y la generación del informe final. Todos los datos introducidos se almacenaran en una base de datos

temporal para su posterior uso. Los campos de información a completar en esta sección son los que se muestra y describen en la Tabla 1.

3ª Sección “Plantación a tratar” (Figura 5): El usuario tendrá que introducir datos acerca de fecha de tratamiento, variedad, marco de plantación, identificación de la parcela y las características de la masa vegetal (Tabla 2), este último apartado deberá ser completado a partir de los datos recopilados en campo de altura y anchura del cultivo. En esta sección se calcularán los parámetros que se describen en la Tabla 3.

Tabla 2. Datos de entrada sección “Plantación a tratar”

Datos a introducir		Descripción
Datos generales	Fecha	Fecha en la que se realiza el tratamiento.
	Especie/variedad	Variedad o cultivar sobre el que se realiza el tratamiento.
Identificación parcela	Código/Nombre/Ref.	Referencia de la finca o parcela.
	Superficie (ha)	Superficie a tratar.
Marco de plantación	Distancia entre líneas de cultivo (m)	Distancia media entre las líneas de cultivo.
	Distancia entre plantas (m)	Distancia media entre las plantas dentro de una misma línea de cultivo.
	Cultivo pareado	Si la estructura del cultivo es conducido a dos tallos o no.
Características masa vegetal	Altura masa vegetal (m)	Altura media de la masa vegetal sobre la que se realizará el tratamiento, medida perpendicular al suelo.
	Anchura masa vegetal (m)	Anchura media de la masa vegetal sobre la que se realizará el tratamiento a diferentes alturas.

Tabla 3. Parámetros calculados sección “Plantación a tratar”

Parámetros calculados	Descripción
Densidad de plantación (plantas m ⁻²)	Nº de plantas por superficie.
Plant Row Volume (m ³ ha ⁻¹)	Volumen de masa vegetal por superficie.

Tabla 4. Datos de entrada sección “Características del equipo pulverizador”

Datos a introducir		Descripción
Tipo de equipo de aplicación	Selección entre distintos equipos:	
	Carretilla manual de barras verticales / Pistola pulverizadora con boquilla cónica / Lanza pulverizadora NOVI / Lanza pulverizadora con boquillas cónicas / Otros equipos.	
Presión de trabajo (bar)	Presión a la que se prevé realizar la aplicación.	
Nº de boquillas	Número de boquillas a emplear.	
Tipo de boquillas	Tipo de boquillas en función del caudal desaguado.	
Capacidad del depósito (L)	Capacidad del depósito donde se prepara el caldo de aplicación.	

5ª Sección “Condiciones meteorológicas y duración del tratamiento” (Figura 7): Como en la sección anterior la información introducida se almacenará en la base de datos temporal de la aplicación. Los campos de información a completar se describen en la Tabla 6. En función de la superficie a recorrer, la hora de inicio del tratamiento y la

velocidad de desplazamiento calculada se determinará la duración del tratamiento y la hora de finalización aproximada (Tabla 7).

Tabla 5. *Parámetros calculados sección “Características del equipo pulverizador”*

Parámetros	Descripción
Caudal unitario (L·min ⁻¹)	Caudal por boquillas en función de la presión de trabajo y la presión y caudal de referencia según tipo de boquilla.
Volumen de aplicación (L·ha ⁻¹)	Volumen calculado en función del modelo de dosificación para diferentes equipos de aplicación.
Caudal total (L·min ⁻¹)	Caudal total desaguado por el conjunto de las boquillas.
Anchura de aplicación (m)	Superficie de suelo cubierta. Dependerá del tipo de equipo utilizado.
Velocidad (m·s ⁻¹)	Velocidad de desplazamiento en función de los parámetros calculados y las condiciones operacionales.
Volumen total (L)	Volumen a aplicar en función de la superficie a tratar.
Cantidad de fitosanitarios a utilizar (según unidad)	Cantidad de fitosanitarios a añadir a los depósitos a preparar.
Nº de depósitos completos	Cantidad de depósitos a preparar según el volumen total a aplicar y la capacidad del mismo.
Volumen depósito parcial (L)	Volumen a añadir al depósito para completar el volumen a aplicar.

Tabla 6. *Datos de entrada sección “Condiciones meteorológicas y duración del tratamiento”*

Datos a introducir	Descripción
Temperatura interior (°C)	Temperatura real o prevista en el interior del invernadero en el momento de la aplicación.
Humedad Relativa (%)	Humedad relativa real o prevista en el interior del invernadero en el momento de la aplicación.
Hora de inicio del tratamiento (h:min)	Hora a la que se prevé iniciar el tratamiento

Tabla 7. *Parámetros calculados sección “Condiciones meteorológicas y duración del tratamiento”*

Parámetros	Descripción
Duración aproximada del tratamiento (h:min)	Duración del tratamiento en función de la velocidad de avance y la superficie a tratar, calculada tomando como referencia la práctica habitual de aplicación y la configuración de cultivo más común en los invernaderos de la provincia de Almería, pasillo central y líneas de cultivo perpendiculares al mismo.
Hora aproximada fin del tratamiento (h:min)	Hora a la que se prevé la finalización de la aplicación para la superficie de tratamiento.

6ª Sección “Resultados” (Figura 8): En esta sección se mostraran en pantalla todos los resultados obtenidos (volumen unitario, volumen total, velocidad de aplicación, cantidad de producto fitosanitario necesario, número de depósitos a preparar...) presentando una serie de consejos o advertencias en función de los parámetros calculados (Tabla 8). Finalmente se generará un informe para su impresión con los datos relevantes y necesarios para realizar una aplicación adaptada al cultivo, permitiendo el registro de información útil para una consulta posterior, por ejemplo en campañas venideras.

Tabla 8. Consejos y advertencias en función de los parámetros calculados

Valores obtenidos	Recomendaciones
Velocidad desplazamiento $> 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	<p>Para una aplicación adecuada la velocidad de desplazamiento debe estar comprendida entre $0,5$ y $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Su velocidad es inferior a $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, cambie la boquilla a una de mayor caudal, si no es posible, suba la presión de trabajo y vuelva a realizar los cálculos. - Su velocidad es superior a $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, cambie la boquilla a una de menor caudal, si no es posible, baje la presión de trabajo y vuelva a realizar los cálculos.
Velocidad desplazamiento $< 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	
Volumen de aplicación $>$ Volumen máximo recomendado	Realice la aplicación usando el Volumen máximo recomendado por el fabricante (el software está programado para realizar, en este caso, todos los cálculos a partir del dato "Volumen máximo")

Figura 3. Sección “INICIO”

Figura 4. Sección “Plaga o enfermedad y control”

Figura 5. Sección “Plantación a tratar”

Figura 6. Sección “Características del pulverizador”

Figura 7. Sección “Condiciones meteorológicas y

Figura 8. Sección “Resultados”

Conclusiones

Se ha desarrollado una herramienta accesible, que facilita al usuario final la utilización del modelo de dosificación basado en la deposición media y adaptado al *PRV* en cultivo de tomate en invernadero, que permitirá el cálculo del volumen de aplicación en función de la cantidad de masa vegetal y el equipo de tratamiento utilizado, racionalizando así, el uso de los productos fitosanitarios, ajustando de esta forma la cantidad empleada y, por tanto, reduciendo los riegos medioambientales y para la salud humana. Finalmente el uso de esta herramienta va a permitir un mayor control y eficiencia en la programación de las operaciones de aplicación de fitosanitarios, lo que se puede traducir en un ahorro de tiempo y una reducción de costes en las explotaciones agrícolas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la CICE (proyecto P12-AGR-773) y cofinanciado por Fondos FEDER y FSE de Andalucía 2007-2013 (contratos de personal).

Bibliografía

- Byers, R.E., Hickey, K.D., Hill, C.H. 1971. Base gallonage per acre. Virginia Fruit 60:19-23.
- Dammer, K., Wollny, J., Giebel, A. 2008. Estimation of the Leaf Area Index in cereal crops for variable rate fungicide spraying. Eur. J. Agron. 28(3):351-360.
- Davy, A., 2011. Trials results of Optidose method using and adjustment of the pesticide dose for control downy and powdery mildew. Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew, Bordeaux, France.
- Furness, G.O., Magarey, P.A., Miller, P.M., Drew, H.J. 1998. Fruit tree and vine sprayer calibration based on canopy size and length of row: Unit canopy row method. Crop Protection 17(8):639-644.
- Gil, E., Bernat, C., Queraltó, M., López, A., Planas, S., Rosell, J.R., Val, L. 2005. Pesticide dose adjustment in vineyard: Relationship between crop characteristics and quality of the applications. Proc.8th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing :29-36.
- Gil, E., Escolà, A. 2009. Design of a decision support method to determine volume rate for vineyard spraying. Appl. Eng. Agric. 25(2):145-151.

- Gil, E., Llorens, J., Landers, A., Llop, J., Giralt, L., 2011. Field validation of Dosaviña, decision support system to determine the optimal volume rate for pesticide application in Vineyards. *Europ. J. Agronomy* 35:33-46.
- Godyn, A., Doruchowski, G., Holownicki, R., Swiechowski, W. 2005. A method for verification of spray volume adapted to crop structure in orchards. *Proceedings of the Eighth Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing* :17-22.
- Manktelow, D. W. L. y Praat, J. P., 1997. The Tree-Row-Volume Spraying System And Its Potential Use In New Zealand. *Proceedings of the 50 th NZ Crop protection society conference*: 119-125.
- Pergher, G., Petris, R. 2008. Pesticide dose adjustment in vineyard spraying and potential for dose reduction. *Agric.Eng.Int.CIGR Ejournal* X(May).
- Planas, S., Camp F., Solanelles F., Sanz, R., Escolá, A., Rosell, JR., 2011a. DOSAFRUT, sistema de ajuste de dosis de plantaciones frutales. *Phytoma España*, 230:58-61.
- Planas, S., Camp F., Solanelles F., Sanz, R., Escolá, A., Rosell, JR., 2011b. Bases tecnológicas del sistema de ajuste de dosis DOSAFRUT. *Phytoma España*, 232: 63-68.
- Rüegg, J., Viret, O., Raisigl, U. 1999. Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of the tree row volume. *Bulletin OEPP/EPPO* 29:103-110.
- Sanchez-Hermosilla, J. ; Paez, F.; Rincon, VJ.; Perez-Alonso, J. 2013. Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. *Sci. agric.*, vol.70: 390-396
- Siegfried, W., Viret, O., Huber, B., Wohlhauser, R. 2007. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. *Crop Protection* 26(2):73-82.
- Sutton, T.B., Unrath, C.R. 1988. Evaluation of the tree-row-volume model for full-season pesticide application on apples. *Plant Dis.* 72:629-632.
- Walklate, P.J., Cross, J.V., Richardson, G.M., Baker, D.E., Murray, R.A., 2003. A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. *Ann. Appl. Biol.* 143(1):11-23.

TI08 - Estimación del volumen de la masa vegetal en tomate en invernadero: Variaciones del Plant Row Volume (PRV).

Páez, F.¹, Rincón, V.J.², Sánchez-Hermosilla, J.², Fernández, M.M.¹, Callejón, A.²

¹Instituto de Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía, La Mojonera, Almería, España. franciscoc.paez@juntadeandalucia.es; ²Dpto. Ingeniería, Univ. Almería, Campus Excelencia Internacional Agroalimentario (CEIA3). jusanche@ual.es

Resumen:

La determinación de la cantidad de vegetación y su posterior relación con el volumen de aplicación de fitosanitarios es la base de las técnicas de "Pulverización Adaptada al Cultivo". El índice de área foliar (LAI) es el parámetro habitualmente utilizado para determinar la cantidad de vegetación. Sin embargo, su utilización a nivel práctico resulta compleja debido a que hay que destruir plantas y disponer de herramientas para medir la superficie de las hojas. Como alternativa se han propuesto métodos que permiten estimar el LAI a partir de otros índices caracterizadores de la masa vegetal, basados en medidas geométricas directas sobre el cultivo, como son; la altura y la anchura de la vegetación y el marco de plantación. En tomate bajo invernadero, se ha desarrollado un modelo de estimación del LAI a partir del PRV (Plant Row Volume), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,91. El PRV se determina como la suma de varios prismas definidos en la línea de cultivo a diferentes alturas. Pero la estructura que presenta la planta de tomate hace que la masa foliar varíe en función de la altura de la planta y no siempre, el volumen, se puede ajustar a un prisma. En este trabajo se proponen dos alternativas al cálculo del PRV: el PRV corregido (PRV_c) y el PRV perfilado (PRV_p) que tienen en cuenta este aspecto de la estructura vegetal. Se ha obtenido una buena correlación entre el "LAI-PRV_c" y el "LAI-PRV_p", con un R^2 en ambos casos del 0,92, algo superior al obtenido con el modelo "LAI-PRV". Los errores que se comenten al estimar el LAI son muy parecidos, comprendidos entre el 8,06% para el PRV_p y el 8,72% para el PRV, sin embargo la complejidad de cálculo es mayor para el PRV_p y el PRV_c que para el PRV.

Palabras clave: Pulverización adaptada al cultivo, fitosanitario, modelo

Canopy estimation in greenhouse tomato crops: Plant Row Volume (PRV) variations.

Abstract:

Quantifying vegetation and its subsequent relation to the spray-application rate are the basis for crop adapted spraying (CAS) techniques. Leaf Area Index (LAI) is the parameter normally used to determine the canopy size. However its use is not very practical because plants have to be destroyed and is needed an equipment for leaves surface measurements. Alternatively have been proposed methods for LAI determination from different plant characterization indexes, based on direct geometric measures on the crop: height, width and planting pattern. For greenhouse tomato crop has been developed a LAI estimation model based on PRV with a determination coefficient (R^2) of 0.91. PRV is determined as the sum of several prisms defined on the crop line at different heights. However the tomato plant structure makes canopy oscillate depending on the plant height and sometimes, the plant volume, can not be adjusted to a prism. In this study two alternatives are proposed for the PRV calculation: the adjusted PRV (PRV_c) and outlined PRV (PRV_p), which take into account that aspect of the canopy. A good correlation has been found between "LAI-PRV_c" and "LAI-PRV_p", with a value of $R^2 = 0.92$ in both cases, slightly higher than the value obtained with the "LAI-PRV" model. Errors made on LAI estimation are very similar, about 8.06% for PRV_p and 8.72% for PRV, nevertheless the PRV_p and PRV_c calculations are more complex than PRV.

Keywords: Crop adapted spraying, plant protection product, estimation model

Introducción

En los cultivos hortícolas en los invernadero del Sudeste español la aplicación de fitosanitarios se realiza fundamentalmente mediante el empleo de equipos poco tecnificados, como son las pistolas pulverizadoras manuales, acopladas a un sistema hidráulico fijo (Fernández et al., 2012), siendo equipos de bajo coste, fácil mantenimiento y adecuados para controlar problemas fitosanitarios puntuales y localizados. Sin embargo presentan una serie de inconvenientes como son: falta de uniformidad en la aplicación, elevadas pérdidas en el suelo (Sánchez-Hermosilla, et al., 2011, 2012), alto riesgo de exposición de los aplicadores y dificultad para regular la presión y los volúmenes de aplicación. Además el control fitosanitario supone un 5,9% (Cabrera et al., 2012) de gasto anual en la estructura de costes de una explotación tipo, que se reparte entre el control biológico y el control químico, representando éste último el 70% aproximadamente del total de gasto. Por todo esto, sería de gran ayuda disponer de modelos que permitan estimar la masa vegetal de forma sencilla y desarrollar a partir de éstas expresiones que faciliten al usuario adaptar el volumen de aplicación a la cantidad de vegetación. De esta forma se conseguiría, por una parte reducir los riesgos medioambientales derivados de esta actividad, y por otra reducir los costes de las aplicaciones.

El TRV (Tree Row Volume) (Byers et al., 1971) es uno de los índices de vegetación más utilizados para estimar los volúmenes de aplicación. Consiste comparar el volumen de vegetación por unidad de superficie con el volumen retenido por un m³ de vegetación. El volumen de vegetación se considera como un paralelepípedo. Este método ha permitido determinar los volúmenes de aplicación de forma más racional y ha dado buenos resultados en plantaciones de manzano (Sutton y Unrath, 1988; Manktelow y Praat, 1997), en frutales de hueso (Rüegg et al., 1999) y en viña (Franchi et al., 2001; Gil et al., 2007; Siegfried et al., 2007).

Manktelow y Praat (1997) compararon tres variantes del TRV, con la intención de saber qué modelo era el más adecuado para determinar el volumen de vegetación para el manzano: US-TRV (considera la copa del árbol con forma piramidal y perfil triangular), HC-TRV (toma el perfil del árbol más globular que rectangular) y el HS-TRV (divide el árbol en estratos a diferentes alturas). Los resultados que obtuvieron de este estudio revelaron que, el método de estratificar el árbol era el más fiable, aunque requería mayor dificultad a la hora de la obtención y procesamiento de los datos.

Una de las principales ventajas de utilizar el TRV es la facilidad de la obtención en campo de las medidas necesarias para su determinación, ya que basta con medir la altura y profundidad del cultivo. Como inconvenientes se presentan la pérdida de precisión al no tener en cuenta la densidad de la masa vegetal, ni el estado de desarrollo del cultivo, factores que afectan en buena medida a la deposición (Cross et al., 2001).

En Noruega a la vista de los resultados obtenidos (la posibilidad de reducir los volúmenes de aplicación mediante el método del TRV), lo han utilizado de forma extendida. En las etiquetas de los productos fitosanitarios se refleja la edad del árbol, tipo de poda de formación, altura, diámetro de copa y el porcentaje de dosis de aplicación en función de un “árbol tipo” de medidas conocidas que se considera como el 100% (Bjugstad, 2001).

El objetivo de este trabajo es evaluar dos alternativas al cálculo del *PRV* en cultivo de tomate en invernadero: el *PRV* corregido (*PRVc*) y el *PRV* perfilado (*PRVp*), siendo

éstos índices que en su cálculo tienen en cuenta la forma de la estructura vegetal en las distintas alturas de la planta. Además, se ha completado el modelo de estimación del *LAI* en función del *PRV* definido por Sánchez-Hermosilla et al (2013), aumentando el número de datos un 38% aproximadamente, haciéndolo más robusto.

Materiales y Métodos

Para este trabajo se han empleado los datos geométricos recopilados en distintas campañas y ubicaciones, de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) procedentes de cultivo en invernadero. La recopilación de los datos geométricos se realizó en tres localizaciones distintas, sobre diversas variedades comerciales de tomate y en invernaderos de tipología diferente, durante un periodo comprendido entre marzo de 2006 y enero de 2011, realizándose dos ciclos de cultivo por año, uno de Otoño-Invierno y otro de Primavera-Verano.

Por lo general, en todas las localizaciones, el cultivo se trasplantó a final de Agosto o principios de Septiembre en los ciclos de Otoño-Invierno y, a final de Febrero en los ciclos de Primavera-Verano, retirándolo en Julio. En todos los casos el cultivo estaba entutorado, mediante hilo de rafia, sustentado por un emparillado de altura comprendida entre 2,17-2,30 m. El agua y los fertilizantes fueron aportados mediante un sistema automático de riego por goteo y las tareas de cultivo fueron desarrolladas de acuerdo con las prácticas locales habituales.

Tabla 1. Coordenadas geográficas, ciclos de cultivo, variedades y número de datos recopilados de las diferentes localizaciones.

Localización	Coordenadas geográficas WGS84	Nº de invernaderos	Superficie (m ²)	Ciclos de cultivo	Variedad	Nº de datos
1 ^a	Lat. 36,84° Long. -2,41°	1	8.000	Primavera-Verano 2006-2007	<i>Beel</i>	9
				Primavera-Verano 2006-2007	<i>Divine</i>	11
				Otoño-Invierno 2007-2008	<i>Divine</i>	12
2 ^a	Lat. 36,79° Long. -2,72°	2	1.780	Primavera-Verano 2007-2008	<i>Divine</i>	17
				Otoño-Invierno 2008-2009	<i>Racimo</i>	10
				Primavera-Verano 2008-2009	<i>Racimo</i>	4
				Primavera-Verano 2008-2009	<i>Delicia</i>	12
3 ^a	Lat. 36,78° Long. -2,71°	2	1.920	Otoño-Invierno 2009-2010	<i>RAF</i>	8
				Primavera-Verano 2009-2010	<i>Denisen</i>	12
				Otoño-Invierno 2010-2011	<i>Zinac</i>	9

En la Tabla 1 se muestra un resumen con las características de las localizaciones, variedades y número de datos recopilados en cada campaña, siendo éstos los datos

medios de los distintos parámetros que a continuación se exponen, para cada invernadero y día muestreado. En total, para el desarrollo de los distintos modelos se ha empleado 104 datos medios, lo que corresponde a un total de unas 832 plantas.

En los distintos invernaderos utilizados en este trabajo se registraron, en cada muestreo, los siguientes parámetros geométricos, empleando la metodología que a continuación se detalla:

Altura de la masa vegetal: Definida como la longitud de la masa vegetal medida perpendicular al suelo. En los primeros estadios fenológicos de la planta, la medida era coincidente con la altura de la misma, siendo ésta la longitud perpendicular al suelo, medida desde su base hasta la última hoja. Tras los distintos deshojados realizados durante el ciclo de cultivo, propios de las labores culturales, esta medida corresponde únicamente a la zona donde había presencia de masa foliar. Éste parámetro fue medido sobre 4 pares de plantas representativas del conjunto del invernadero.

Anchura de la masa vegetal: Al tratarse de plantas pareadas (dos plantas o tallos por gotero), la anchura fue definida como la longitud medida paralela al suelo desde el lateral exterior de la planta derecha hasta el lateral exterior de la planta izquierda, descontando el hueco entre ambas, para no sobreestimar este parámetro geométrico. Dado que el desarrollo de las plantas no es uniforme en altura, la anchura fue medida a 3 alturas ($1/6$, $1/2$, $5/6$ de la altura de la masa vegetal) considerando todo el material vegetal en cada una (Figura 1), y teniendo en cuenta los datos necesarios para determinar los parámetros caracterizadores de la masa vegetal, que se definirán en apartados posteriores.

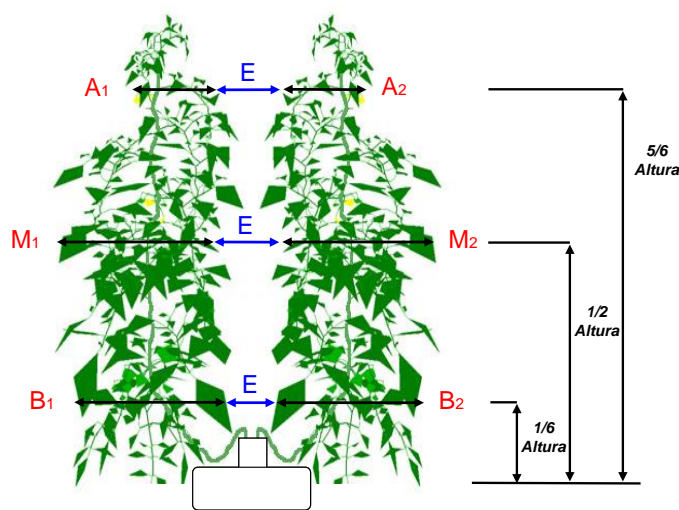


Figura 1. Medida de la anchura; B anchura baja (B_1+B_2) ($1/6$ altura), M anchura media (M_1+M_2) ($1/2$ altura) y A anchura alta (A_1+A_2) ($5/6$ altura).

Superficie foliar: Definida como la superficie de los folíolos que componen las distintas hojas de la planta. Para ello fue empleado un método destructivo, consistente en cortar todas las hojas del individuo, midiendo la superficie de las mismas con la ayuda de un planímetro (WinDias, Delta-T Devices Ltd. Cambridge). El parámetro fue medido sobre 6 plantas escogidas de entre los 4 pares de plantas seleccionadas para la medida de la altura y anchura.

Estos parámetros fueron medidos de forma periódica cada 15-20 días, en función del ciclo, evolución del cultivo y labores culturales, ya que en todos los ciclos se llevó a cabo la eliminación del meristemo apical (despunte), por lo que el crecimiento en altura se

detuvo, y se ralentizó el crecimiento en anchura puesto que sólo dependía del crecimiento del área foliar de las hojas más jóvenes.

A continuación se presentan como se determinan los distintos índices utilizados para caracterizar la masa vegetal:

Determinación del Índice de Área Foliar (LAI): El LAI es el índice más preciso para estimar la masa vegetal de un cultivo. Se define como la relación existente entre la superficie foliar de la planta con respecto a la superficie que ocupa ésta en el suelo (Ecuación 1). Este índice fue calculado para cada una de las plantas a las que se le midió el parámetro de superficie foliar.

$$LAI = \frac{\text{Superficie foliar}(m^2)}{\text{Superficie suelo}(m^2)} \quad (1)$$

Determinación del Plant Row Volume (PRV): El PRV se define como el volumen de vegetación por unidad de superficie cultivada expresado en $m^3 \cdot ha^{-1}$. Este volumen queda representado por un prisma de base rectangular (Figura 2). Las variables geométricas necesarias para determinar este índice (Ecuación 2) son la altura y anchura de la masa vegetal y la distancia entre filas de plantas.

$$PRV(m^3 \cdot ha^{-1}) = \frac{\text{Altura}(m) \cdot \text{Anchura}(m) \cdot 10.000}{\text{distancia entre filas}(m)} \quad (2)$$

Este índice fue calculado de acuerdo a la Ecuación 3, para cada par de plantas a las que se le midió los parámetros de anchura y altura.

$$PRV = \frac{10.000 \cdot H \cdot [(B_1 + B_2) + (M_1 + M_2) + (A_1 + A_2)]}{3 \cdot D} \quad (3)$$

Donde PRV es el Plant-Row Volume (en $m^3 \cdot ha^{-1}$), H es la altura de la masa vegetal (en m), B_1 y B_2 la medida de la anchura baja (en m), M_1 y M_2 la medida de la anchura media (en m), A_1 y A_2 la medida de la anchura alta (en m) y D la distancia entre líneas (en m). En definitiva el PRV quedó definido como la suma de los volúmenes de 6 prismas de base rectangular (2 por cada 1/3 de la altura) (Figura 3).

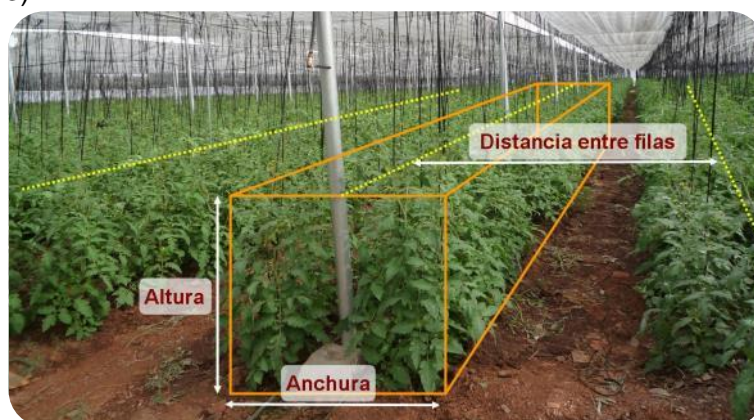


Figura 2. Volumen de vegetación definido según PRV

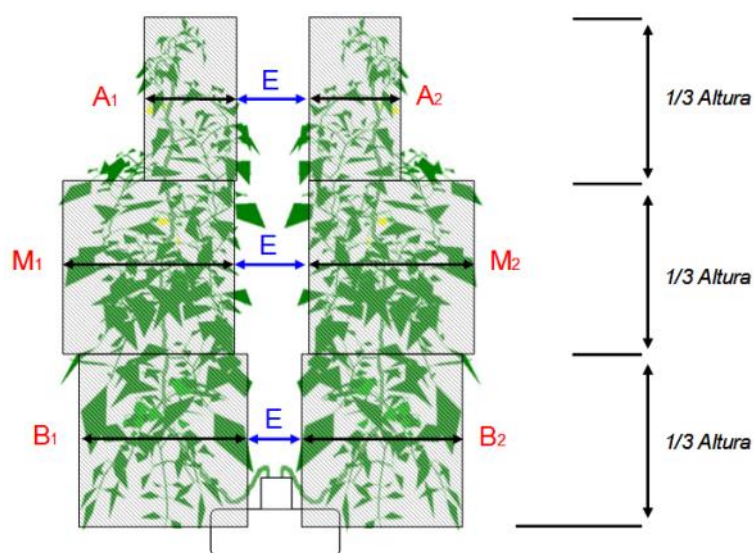


Figura 3. Esquema de PRV; B anchura baja (B_1+B_2), M anchura media (M_1+M_2), A anchura alta (A_1+A_2) y E espacio entre plantas.

Determinación del Plant Row Volume modificado

Como se ha comentado anteriormente, el PRV se determina considerando la planta como la suma de los volúmenes de diferentes prismas en función de la altura. Pero la masa foliar en la altura alta, no corresponde exactamente a esa forma, ya que, conforme nos aproximamos al ápice de la planta ésta se estrecha, por lo que en ocasiones, se sobrestima el volumen de vegetación calculado. El PRV corregido (PRV_c) tiene en cuenta este aspecto de la estructura, calculando el volumen de la altura alta, como la suma de los volúmenes de un prisma de base trapezoidal y un prisma de base triangular (Figura 4-A). Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y para evitar la sobreestimación del volumen en las restantes alturas, se plantea otra metodología para la determinación del PRV, el PRV perfilado (PRV_p), que considera una continuidad entre los volúmenes de masa vegetal a las diferentes alturas, intentando perfilar el contorno de la planta (Figura 4-B).

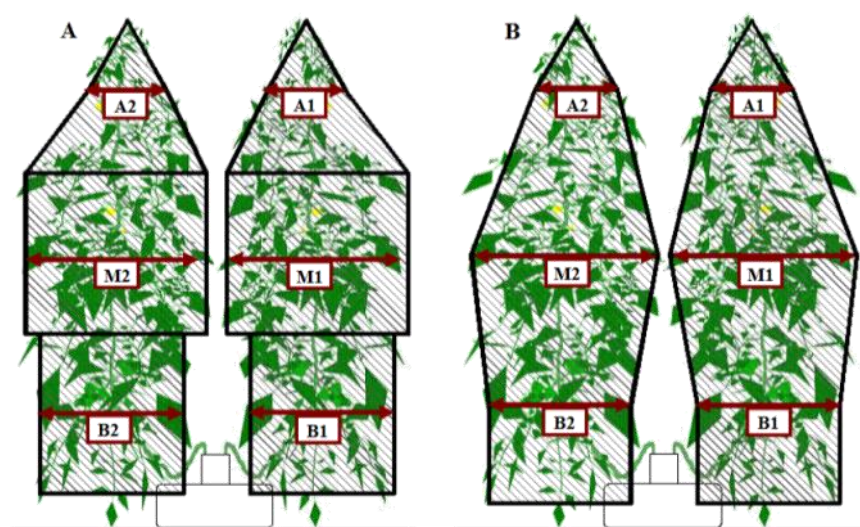


Figura 4. Esquemas de la geometría utilizada para la determinación del PRV_c (A) y PRV_p (B).

Estos índices han sido calculados de acuerdo a las Ecuaciones (4) y (5), para cada par de plantas a las que se les midió los parámetros de anchura y altura.

$$PRV_c = \frac{10.000 \cdot H \cdot \left[\frac{1}{3}(B_1 + B_2) + \frac{5}{12}(M_1 + M_2) + \frac{1}{6}(A_1 + A_2) \right]}{D} \quad (4)$$

$$PRV_p = \frac{10.000 \cdot H \cdot \left[\frac{1}{3}(B_1 + B_2) + \frac{1}{3}(M_1 + M_2) + \frac{1}{4}(A_1 + A_2) \right]}{D} \quad (5)$$

Donde PRV_c y PRV_p son el PRV corregido y perfilado (en $m^3 \cdot ha^{-1}$) respectivamente, H es la altura de la masa vegetal (en m), B_1 y B_2 la medida de la anchura baja (en m), M_1 y M_2 la medida de la anchura media (en m), A_1 y A_2 la medida de la anchura alta (en m) y D la distancia entre líneas (en m).

Desarrollo de modelos estimativos

A partir de las distintas variables geométricas medidas y los índices caracterizadores de masa vegetal calculados, se han desarrollado modelos que los relacionan entre sí, con el objetivo de encontrar una correlación entre éstos, permitiendo estimar el LAI , a partir de índices de cálculo más sencillo. Para el desarrollo de estos modelos se han utilizado los valores medios de PRV , PRV_c , PRV_p y LAI de cada uno de los invernaderos y días muestreados. Este tipo de análisis de regresión lineal permite, estudiar la existencia de relación entre variables, cuantificar el grado de relación, y estimar una función matemática que la describa. Para determinar en qué medida se relacionan estas variables, se ha empleado el coeficiente de determinación (R^2). Para el cálculo de las correlaciones se ha utilizado el software SPSS v15.0 (SPSS Inc., IBM Company, Chicago, IL, USA).

Los modelos resultantes se han validado a partir de los datos (en total 13 datos) de una serie de plantas muestreadas en un ciclo de cultivo de tomate (variedad *Divine*) llevado a cabo en la localización 2, en la campaña de Otoño-Invierno (2007-2008), los cuales no han sido incluidos en los modelos desarrollados (Tabla 2).

Para discernir entre los distintos modelos desarrollados, se escogió aquel cuyo “Error Relativo Estándar (RSE)” (Ecuación 6) era menor.

$$RES = 100 \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^N (C_j - \bar{C}_j)^2}{\sum_{j=1}^N C_j^2} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Donde N es el número total de datos (13), C_j es el valor real de LAI para la muestra j , \bar{C}_j es el valor estimado de LAI para la muestra j y $\sum_{j=1}^N (C_j - \bar{C}_j)^2$ es la suma residual de cuadrados ($PRESS$).

Tabla 2. Datos empleados para validar los modelos

Ensayo	ddt ⁽¹⁾	PRV(m ³ /ha)	PRV _c (m ³ /ha)	PRV _p (m ³ /ha)	LAI
1	36	4397,27	4340,15	4166,50	1,27
2	42	5761,67	5504,79	5383,13	1,60
3	49	6181,96	6103,25	5840,83	1,89
4	56	6884,04	6631,65	6468,41	2,70
5	63	8810,33	8340,85	8218,58	2,94
6	70	8212,83	7837,35	7681,22	2,52
7	88	10106,42	9374,60	9299,33	3,45
8	95	9990,13	8899,99	9064,58	3,74
9	102	10098,83	9206,46	9233,50	3,49
10	105	10063,17	9100,21	9155,67	3,76
11	108	10602,00	9718,50	9734,00	4,35
12	112	9656,33	8948,33	8879,50	3,33
13	115	6344,06	5688,77	5748,75	2,29

⁽¹⁾ddt; días después del transplante

Resultados y Discusión

Tras la recopilación de los parámetros geométricos de altura y anchura, y la determinación de los índices caracterizadores de la masa vegetal definidos, se han analizado las correlaciones existentes entre el *LAI* y los índices calculados *PRV*, *PRV_c*, y *PRV_p*.

De entre los distintos tipos de curvas de regresión (líneas de tendencia) representadas, son las potenciales, las que en todos los casos, presentan un mayor coeficiente de determinación (R^2). Para la representación de estas relaciones se definen como variables independientes los índices calculados *PRV*, *PRV_c* y *PRV_p* y como variable dependiente el *LAI*.

En primera instancia se ha representado la curva que relaciona los valores medios, por invernadero y día muestreado, del *LAI* y el índice *PRV*. La correlación (Figura 5), es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99% y un R^2 de 0,91. Estos resultados muestran que parámetros fácilmente medibles en la masa vegetal en un cultivo de tomate, van a permitir estimar un índice complejo como es el *LAI*. Esto se debe a que el desarrollo normal del tomate presenta una regularidad en la distribución de los nudos y el desarrollo de las hojas. Con respecto al modelo de estimación de *LAI* a partir del *PRV* desarrollado por Sánchez-Hermosilla et al (2013), al introducirle nuevos

datos, se han visto modificadas ligeramente tanto su ecuación propia como su coeficiente de determinación (R^2), que pasa de 0,94 a 0,92.

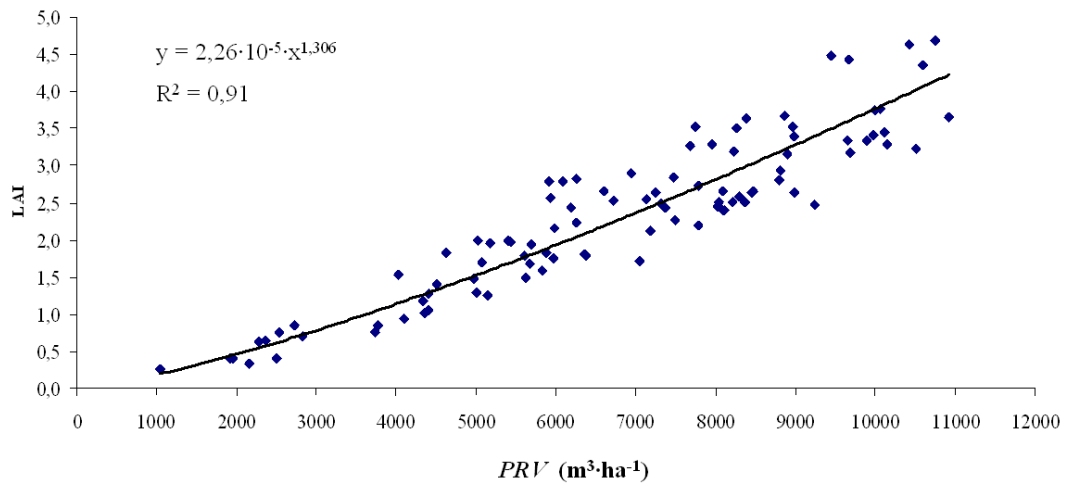


Figura 5. Curva de regresión PRV-LAI

Las correlaciones obtenidas entre “LAI- PRV_c ” (Figura 6) y “LAI- PRV_p ” (Figura 7) son estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 99% y un R^2 de 0,92 en ambos casos.

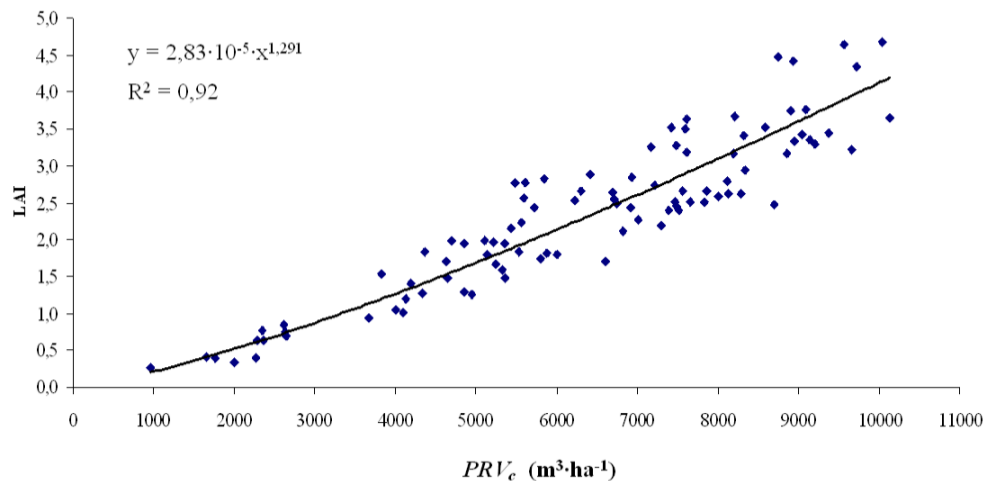


Figura 6. Curva de regresión PRV_c -LAI

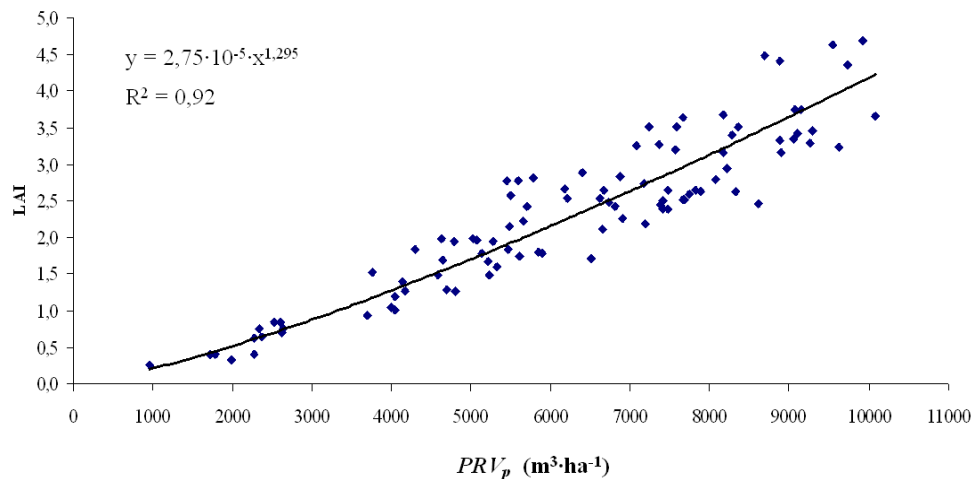


Figura 7. Curva de regresión PRV_p -LAI

Los valores de R^2 obtenidos son algo superiores al obtenido entre el “PRV-LAI”, esto es debido a que el PRV, sobrestima el volumen de vegetación, de media, en un 7,21% y 7,95% con respecto al calculado por PRV_c y PRV_p respectivamente. Esta sobrestimación es mayor en los primeros estadios de crecimiento del cultivo, como muestra la Tabla 3, como consecuencia de que la masa vegetal de la zona alta de la planta, disminuye su anchura conforme nos aproximamos al ápice, y por lo tanto, posee un volumen de vegetación menor que el estimado por el PRV.

Tabla 3. Porcentaje de sobrestimación del volumen de masa vegetal calculado por el PRV con respecto al calculado por PRV_c y PRV_p , según intervalos de LAI.

Intervalo de LAI	% de sobrestimación del volumen calculado por el PRV	
	PRV_c	PRV_p
[0,5-1,5]	9,24	10,34
[1,5-2,5]	6,78	7,65
[2,5-3,5]	6,99	7,75

Para determinar cual de los modelos permite una mejor estimación del LAI, se procede al cálculo del “Error Relativo Estándar” (RSE) a partir de los datos (en total 13 datos) de una serie de plantas muestreadas (Tabla 2), que no se han incluido en los modelos desarrollados. La Tabla 4 muestra para cada modelo estimativo de LAI propuesto y en función de los parámetros medidos en campo para su determinación, el PRESS (suma residual de cuadrados), el RSE y la ecuación propia.

Tabla 4. Valores de PRESS, RSE y la ecuación propia de los modelos calculados

Modelos estimativos de LAI	PRESS	RSE (%)	Ecuación del modelo	(R^2)
Modelo basado en el PRV	0,89	8,72	$LAI = 0,226 \cdot 10^{-4} \cdot (PRV)^{1,306}$	0,91
Modelo basado en el PRV_c	0,89	8,71	$LAI = 0,283 \cdot 10^{-4} \cdot (PRV_c)^{1,291}$	0,92
Modelo basado en el PRV_p	0,76	8,06	$LAI = 0,275 \cdot 10^{-4} \cdot (PRV_p)^{1,295}$	0,92

Los modelos de PRV, PRV_c , PRV_p (Tabla 4) presentan un RSE dentro de un mismo rango, siendo el de menor valor el PRV_p con un RSE de 8,06%.

Conclusiones

Los modelos basados en el PRV_p (8,06%), el PRV_c (8,71%) presentan menores RSE que el basado en el PRV. Teniendo en cuenta, que las diferencias entre éstos modelos son menores al 0,66% y que el índice PRV presenta mayor facilidad de cálculo frente al PRV_c y PRV_p , se concluye que este modelo es el que se recomienda utilizar para la estimación del LAI en cultivo de tomate en invernadero.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la CICE (proyecto P12-AGR-773) y cofinanciado por Fondos FEDER y FSE de Andalucía 2007-2013 (contratos de personal).

Bibliografía

- Bjugstad, N., 2001. Practical solutions to ensure correct pesticide dosage in orchards in Norway. International Society for Horticultural Science.
- Byers, R. E., Hickey, K.D., Hill, C., 1971. Base gallonage per acre. Virginia Fruit, 60: 19-23.
- Cabrera, A.M. y Uclés, D., 2012. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2011/2012. Fundación Cajamar, Almería.
- Cross, J.V., Walkjate, P.J., Murray, R.A., Richardsdson, G.M., 2001. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. Crop Protection. 20: 13-30.
- Fernández, M., Páez, P., Rincón, V.J., Sánchez-Hermosilla, J., 2012. Estudio prospectivo sobre el estado de los equipos de Aplicación de Fitosanitarios en Invernadero en la Comarca del Bajo Andarax (Almería). XII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. pp 206. ISBN: 978-84-615-7861-0.
- Franchi, A., Barani, A., y Scannavini, M., 2001. Applicazioni antiparassitarie: Ultime acquisizioni. Tecnica Viticola. 84-85.
- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J.R., Planas, S., Val, L. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection 26(8):1287-1297.
- Manktelow, D. W. L. y Praat, J. P., 1997 The Tree-Row-Volume Spraying System And Its Potential Use In New Zealand. Proceedings of the 50 th NZ Crop protection society conference: 119-125.
- Rüegg, J., Viret, O., Raisigl, U., 1999. Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchardson the basis of tree row volume. Bulletin Eppo/Oepp Bulletin, 29: Pp. 103-110.
- Sánchez-Hermosilla, J. ; Paez, F.; Rincon, VJ.; Perez-Alonso, J. 2013. Volume application rate adapted to the canopy size in greenhouse tomato crops. Sci. agric., vol.70: 390-396
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V.J., Páez, F., Agüera, F., Carvajal, F., 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops. Pest Management Science 67 (8), pp. 942-947.
- Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V.J., Páez, F., Fernández, M., 2012. Comparative spray deposits by manually pulled trolley sprayer and a spray gun in greenhouse tomato crops." Crop Protection 31 (1), pp 119-124.
- Siegfried, W., Viret, O., Huber, B., Wohlhauser, T., 2007. Dosage of plant protection products adapted to leaf area index in viticulture. Crop Prot., 26: 73-82.
- Sutton, T. y Unrath, C., 1988. Evaluation of the tree-row-volume model for full season pesticide application on apples. Plant Dis., 72: 629-632.

*SESIÓN VII: TECNOLOGÍA DE LA
PRODUCCIÓN ANIMAL Y
ACUICULTURA*

PA01 - Concentración de NH₃ en relación con otras variables ambientales en alojamientos para lechones de 6 a 20 kg de p.v.

Arango, T.¹; Besteiro, R.¹; Souto, V.G.¹; Rodríguez, M.R.¹; Fernández, M.D.¹

¹ Grupo de investigación GI-1720, Energía, Mecanización y Modelización Agroforestal, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n 27002 Lugo. e-mail: tamara.arango@rai.usc.es

Resumen

La medición de la concentración de NH₃ en alojamientos ganaderos es compleja, cara y presenta numerosos problemas, incluso en investigación. Esto promovió el esfuerzo de diversos investigadores en la obtención de relaciones entre el amoníaco y otras variables más fáciles de medir. El objetivo de este trabajo es el conocimiento del ambiente interior de las explotaciones porcinas de destete, sus variables ambientales y la interacción entre las mismas, con especial atención a la estimación de la concentración de NH₃ a partir de otras variables de más fácil medición. La fase experimental se llevó a cabo en Abegondo, A Coruña, en una sala de destete de una explotación porcina de producción de lechones de 6 a 20 kg de p.v. Se obtuvieron datos, en un período de 30 días, de temperatura, concentración de NH₃ y CO₂, humedad relativa, velocidad del aire y actividad animal. Los resultados muestran correlaciones positivas de la concentración de NH₃ tanto con la concentración de CO₂ ($R^2=0,541$), como con la humedad relativa ($R^2=0,510$). Asimismo, se manifiesta una clara dependencia entre la concentración de CO₂ y la humedad relativa ($R^2=0,816$). Estas relaciones son útiles para la estimación y control de la concentración de NH₃ y CO₂, puesto que, niveles bajos de humedad garantizan bajas concentraciones de NH₃ y de CO₂. La relación entre la concentración de NH₃ y de CO₂ y las velocidades de aire, son indicadoras del nivel de ventilación que se está realizando. Esto indica que la ventilación es el factor clave en la determinación y predicción de la concentración de NH₃. El control de la ventilación incorporando la variable de humedad relativa permite un control indirecto sobre las concentraciones de NH₃ y el CO₂.

Palabras clave: destete, gases, temperatura, ventilación, actividad.

Relation between NH₃ concentration and other environmental variables in piglets housing of 6 to 20 KG LW

Abstract

The measurement of NH₃ in the air in livestock housing, besides being difficult and expensive, presents numerous problems. Due to these researchers studied relation between ammonia and other easily measured variables. The aim of this work is the knowledge of the indoor environment of piglets, their environmental variables the interaction between them, and to focus on the estimation of the concentration of NH₃ through other easily measured. Data were collected for a month using temperature, NH₃, CO₂, humidity, ventilation and animal activity sensors, located in a room of a piglet farm located in Abegondo, A Coruña. The results showed a positive correlation between the concentrations of NH₃ and CO₂ ($R^2 = 0,541$) and with relative humidity ($R^2 = 0,510$), and there is also a clear dependence between the CO₂ concentration and humidity ($R^2 = 0,816$). These relations are useful for estimating and monitoring the NH₃ and CO₂ concentration and, because low levels of humidity guarantee low humidity low concentrations of NH₃ and CO₂. The relation between NH₃ and CO₂ concentration and ventilation, are indicative of the level of ventilation is suitable, so ventilation is the key factor in the determination and prediction of the concentration of NH₃. The ventilation control incorporating humidity variable allows an indirect control over the concentrations of NH₃ and CO₂.

Keywords: weaning, gases, temperature, ventilation, activity.

Introducción y/o Justificación

Los factores que influyen en la elección de los sistemas o tipos de alojamiento son múltiples e incluyen consideraciones climáticas o ambiente climático. Se debe considerar también la salud, el bienestar y el confort de los animales, la provisión y distribución del alimento y el manejo de los residuos producidos.

El ambiente climático incide sobre el crecimiento de los animales debido a su efecto sobre la eficiencia con la que los nutrientes son utilizados para los múltiples procesos metabólicos del organismo. Por lo tanto se debe mantener a los animales dentro de su zona de termo neutralidad, donde la producción de calor es mínima y la energía disponible para la producción es máxima. Fuera de esta zona se incrementa la producción de calor y se reduce la eficiencia de utilización de los nutrientes (Close, 2006).

Además del control térmico, el manejo ambiental incluye el mantenimiento de una buena calidad del aire. Los animales están directamente expuestos al aire y por lo tanto, a sus contaminantes y por tanto la piel, los ojos y la mucosa del tracto respiratorio resultan directamente afectados e irritados, lo que favorece la aparición de enfermedades (Pedersen, 2005). Los contaminantes ambientales provienen de la descamación de la piel, del alimento, de la cama y de las heces y orina. La descomposición anaeróbica del estiércol produce gases que pueden ser perjudiciales para la salud y la productividad de los animales entre los cuales el amoníaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2) son los más comunes.

El amoníaco se genera por la mezcla de heces y orina, es tóxico, más ligero que el aire y se asocia con las tasas de ventilación y con los sistemas de manejo de residuos o efluentes. La respiración continua de amoníaco aún en bajas concentraciones incrementa la susceptibilidad a las enfermedades respiratorias además de pérdida de apetito. Drummond *et al.* (1980) determinaron reducciones en el incremento de peso entre el 12 y el 30%, para concentraciones de amoníaco entre 50 y 150 ppm. Concentraciones superiores a 50 ppm provocan el letargo de los cerdos y excesivo lagrimeo y aparición de manchas negras en los ojos. Las recomendaciones en cuanto al nivel máximo de amoníaco tolerable para cerdos están en torno a 20 ppm según la International Commission of Agricultural Engineering (CIGR, 2002). Bottcher *et al.* (2001) consideran adecuados niveles menores de 15 ppm, y recomiendan tomar precaución a niveles entre 15 y 25 ppm considerándolos peligrosos por encima de 25 ppm. Donham *et al.* (2002) establecen límites aún más restrictivos (11 ppm).

Uno de los métodos más utilizados para la medida del amoníaco son los difusores pasivos. El elemento medidor se deja un tiempo en una ubicación concreta, y posteriormente se analiza la cantidad de amoníaco absorbida, utilizado por Hansen *et al.* (2003), en granjas de porcino. El principal problema es que no proporciona mediciones a tiempo real, sino durante el período de exposición del sensor. Otros autores como Aarnink *et al.* (1997) utilizaron el método de la cámara estática para la medición de NH_3 que se basa en aislar una pequeña área de material emisor, en el que se evalúa el incremento en la concentración del gas emitido. Este aislamiento altera condiciones climáticas y además, mediante este sistema no se pueden estudiar las emisiones como un proceso dinámico, sino únicamente estático. Aunque existen diversos tipos de sensores, los más adecuados por el rango de medición son los electroquímicos, ya que además permiten la medición en continuo, no alteran los alojamientos y permiten analizar la dinámica del gas (Liang *et al.*, 2003; Wilhelm *et al.*,

2001). Wheeler *et al.* (2000) determinaron que la medición con sensores electroquímicos constituye una alternativa recomendable para la medición de amoníaco en granjas avícolas. Sin embargo, este sistema pierde sensibilidad con mediciones prolongadas y los errores en la medición se incrementan cuando se aproxima al límite de detección (Phillips *et al.* (2001). Además suponen un elevado coste. Por un lado, la exposición prolongada a elevadas concentraciones de NH_3 en ambientes pulverulentos produce la saturación del sensor y para una adecuada medición se hace necesaria la instalación de equipos de filtrado de polvo. El sensor posee una célula electroquímica que se agota en un plazo que oscila entre 2 y 3 años y la provisión de material de sustitución no es recomendable, ya que las células electroquímicas se agotan aunque no estén instaladas.

Como se demuestra, la medición de NH_3 es compleja, por eso promovió el esfuerzo de varios investigadores en la obtención de relaciones entre el amoníaco y otras variables más fáciles de medir. Choi *et al.* (2005) estudió la relación entre la generación de polvo en el aire y las condiciones térmicas de la sala, y encontró cómo la concentración de polvo total y la total de bacterias en el aire tiene una correlación significativa con la temperatura y la humedad relativa. Sousa y Pedersen (2004) observaron que, además de la temperatura interior, las emisiones de NH_3 dependen de varios factores como la actividad animal y la tasa de ventilación. Blanes-Vidal *et al.* (2008) relacionó las variaciones diurnas de amoníaco con las variaciones diurnas de actividad animal y por otra parte la concentración de amoníaco con el flujo de ventilación.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es el conocimiento del ambiente interior de las explotaciones porcinas, de sus variables ambientales, así como de la interacción entre las mismas, prestando especial atención a la estimación de la concentración de NH_3 a través de otras de más fácil medición.

Material y Métodos

La fase experimental del trabajo se realizó en una explotación porcina de producción de lechones de 20 kg de peso vivo, con un censo ganadero autorizado de 4895 madres, situada en el Noroeste peninsular. La sala donde se realizaron las mediciones está en la nave de destete y alberga 300 lechones en 12 corrales. Presenta unas dimensiones de 5,86x11,82 m² y una altura de interior de 2,50 m en la zona de cumbrera y 2,25 m en la pared exterior. La ventilación en la sala se realiza mediante un ventilador con una potencia de 0,48 kW y un caudal máximo de 8 m³ h⁻¹. La ventilación tiene una doble finalidad ya que va a controlar la temperatura de la sala y mediante la renovación de la atmósfera interior va a controlar la concentración de partículas en suspensión y gases como el vapor de agua, NH_3 o CO_2 , proporcionando un ambiente confortable a los lechones. La calefacción es de suelo radiante con agua caliente en cada uno de los corrales.

Se recogieron datos desde el 23/02/2013 hasta el 11/04/2013, procediendo posteriormente al filtrado de datos para descartar datos erróneos por problemas en la medición. Se midieron las siguientes variables de climatización: temperatura, humedad relativa, velocidad del aire interior, velocidad del del aire a través del ventilador de extracción, concentración de CO_2 , concentración de NH_3 y actividad animal.

Para ello se emplearon:

- Sensores de temperatura y humedad con rango de medición de -40°C a $+75^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ y 0-100% con precisión de, 2.5 %).
- Sensores de temperatura de tipo NTC resistivos con rango de medición: -35 - $50^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ de 0 a $+50^{\circ}\text{C}$.
- Sensor de NH_3 electroquímico, con rango de medición de 0-100 ppm con el 5% de precisión.
- Sensor de CO_2 de infrarrojo, rango de medición: 0-5000 ppm y precisión de $\pm(50\text{ppm}+4\%$ de la medición).
- Anemómetro, para la medición de la velocidad del aire interior, con rango de medición: 0,08...5 m/s $\pm 0,06$ m/s
- Anemómetro, para la medición de la velocidad del aire de ventilación, con rango de medición: 0,20...20 m/s $\pm(0,4\text{m/s}+3\%$ de la medida),

En la zona animal los sensores se instalaron a la altura de los animales (0,40 m), midiendo las condiciones ambientales que rodean a los lechones. En esta zona se midieron: temperatura, humedad, velocidad de aire, concentración de CO_2 y concentración de NH_3 .

En la zona de entrada de aire se midió la concentración de CO_2 y en la de salida se midió la velocidad de aire. Los sensores de temperatura fueron instalados en la zona central de la sala, a nivel del suelo (TA10) y a un metro de altura (TA7). También se instaló una estación meteorológica exterior para registrar la temperatura exterior (Sensor de temperatura 12-Bit, precisión $<0,2^{\circ}\text{C}$ e resolución $0,03^{\circ}\text{C}$).

Para medir la actividad animal en la sala se instalaron sensores de presencia con una cobertura de medición de 12x12m, 85° y una velocidad de detección de 0,3-1,5 ms^{-1} . Se utilizaron 4 sensores PIR (infrarrojo pasivo) instalados a una altura de 2 m y distribuidos 2 en la entrada de la sala para controlar la actividad en la misma de forma general (sensores PIR 1 y PIR 2) y otros dos en el centro, sensores PIR 3 y PIR 4, para medición de la actividad en los corrales de control. Se dispone de dos tipos de mediciones de la actividad, moderada e intensa. Se define como actividad moderada la que produce activación del detector de presencia configurado para 2 pulsos en 20 segundos y actividad intensa la que produce activación del detector para 4 pulsos en 20 segundos. Para el almacenamiento de los datos se instalaron dos colectores de datos: HOBO® FlexSmart (15 canales, con 6 canales para sensores inteligentes y 3 conexiones para módulos analógicos) y Campbell Sci (24 canales de medición analógica, 8 puertos I/O). Las mediciones fueron realizadas a cada segundo almacenándose su media cada 10 min, a excepción de los sensores de presencia, en los que se almacenó el sumatorio de tiempos de actividad a intervalos de 10 min.

Mediante el software estadístico SPSS (versión 20) se realizaron 3 análisis de regresión lineal con un intervalo de confianza del 95% para detectar la correlación entre las siguientes variables: NH_3 y CO_2 , NH_3 y HR y CO_2 y HR. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para detectar el grado de asociación del conjunto de las variables (CO_2 , HR, VIN, VEX, actividad animal, TA7, TH2, TA10) con la concentración de NH_3 . Se realizaron 5 combinaciones diferentes de regresión múltiple, tomando siempre la variable NH_3 como dependiente y un intervalo de confianza del 95%. Las combinaciones realizadas fueron entre la concentración de NH_3 y (1) actividad animal, (2) las distintas temperaturas medidas, (3) concentración de CO_2 y velocidades de aire,

(4) concentración de CO₂, velocidades de aire y HR y (5) concentración de CO₂, velocidades de aire, HR y las distintas temperaturas medidas.

Tabla 1: Nomenclatura de las variables y sensores empleados.

Sensores	Abreviatura	Unidades	Ubicación
Amoníaco	NH ₃	ppm	Zona animal
Dióxido de Carbono en la jaula	CO ₂	ppm	Zona animal
Humedad	HR	%	Zona animal
Detectores de presencia infrarrojo pasivo	KGPIR3	2 pulsos en 20 s	Zona central de la sala
Detectores de presencia infrarrojo pasivo	KGPIR4	4 pulsos en 20 s	Zona central de la sala
Temperatura animal	TH2	°C	Zona animal
Temperatura a un metro	TA7	°C	Zona central de la sala
Temperatura suelo	TA10	°C	Zona central de la sala
Temperatura exterior	Text	°C	Exterior de la granja
Ventilación interior	VIN	m/s	Zona animal
Ventilación exterior	VEX	m/s	Salida del aire

Resultados y Discusión

Temperaturas

Las temperaturas medias durante el período son muy similares y se encuentran dentro de las temperaturas de confort señaladas por distintos autores. Las temperaturas mínimas alcanzadas en el momento de introducir los lechones de 6 kg de p.v. en la sala están por encima del valor recomendado. Las temperaturas máximas nunca sobrepasan el máximo recomendado. Por lo tanto, podemos hablar de una buena distribución de temperaturas y de una buena climatización en lo que a temperatura se refiere.

Tabla 2: Temperaturas en la sala; TH2 en la zona animal, TA7 y TA10 en la zona central de la sala a una altura de un metro y en el suelo respectivamente, comparadas con temperaturas confort.

	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
TH2	28,10	29,12	27,24
TA7	27,07	28,22	26,14
TA10	27,15	28,91	25,95
T confort	28,00	30,00	25,00

Gases

Los niveles de CO₂ medidos superan la concentración máxima de 3000 ppm recomendada por la CIGR (2002) en un 62,25 % del tiempo en el sensor situado en la zona animal y en un 22% para el sensor situado en la entrada de aire de la sala. Las concentraciones media y máxima de NH₃ en la zona animal se encuentran por debajo de las recomendaciones de autores como Donham et al. (2002) que sitúa el límite para cerdos en 11 ppm.

Los niveles máximos de concentración de CO₂ y NH₃ se producen entre las 7:00 y las 10:00 h y de 19:00 a 21:00 h, a diferencia de Choi *et al.* (2005) que sitúa tres picos en la curva de NH₃, de 8:00 a 9:00 h, de 14:00 a 15:00 h y de 20:00 a 21:00 h. Los valores medidos de humedad relativa son menores que el valor medio recomendado por

Forcada (1997) entre el 60-65% mientras que el máximo supera levemente el recomendado del 75%.

Tabla 3: Cuadro resumen de los valores medidos para NH_3 , CO_2 y HR en la zona animal

	Media	Máxima
CO_2 (ppm)	3675,63	5638,70
NH_3 (ppm)	3,86	10,39
HR (%)	61,41	77,50

Relación entre NH_3 y CO_2

Tomando la concentración de NH_3 como variable dependiente y la de CO_2 como variable independiente se obtuvo un valor de R^2 de 0,541, el cual significa que la evolución de la variable concentración de NH_3 se puede explicar en un 54,1% en función del valor de la concentración de CO_2 . El error obtenido es de 1,51 ppm, lo que indica el margen dentro del cual se puede predecir la concentración de NH_3 . La media del error relativo con respecto a la media está en el 39%, mientras que con respecto al máximo se sitúa en el 14%.

Tabla 4: Resultados obtenidos en el modelo de relación CO_2 - NH_3 mediante regresión lineal

R	R^2	R^2 corregido	Error típico de la estimación	Media cuadrática
0,736	0,542	0,541	1,51	2,269

En la tabla 5 se refleja el nivel de significancia obtenido entre las variables, lo que explica que la relación existente entre la concentración de ambos gases es muy significativa y que no es debida al azar. A partir de los coeficientes, B, obtendríamos la recta de regresión, ecuación (1), con la cual se podría modelar la estimación de la variable concentración de NH_3 .

$$y = 0,002x - 1,518 \quad (1)$$

Donde:

y= concentración de NH_3

x= humedad relativa (CO_2)

Tabla 5: Coeficientes del modelo de relación CO_2 - NH_3 mediante regresión lineal

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Sig.
	B	Error típ.	Beta	t	
(Constante)	-1,518	0,169		-8,985	0,000
CO_2	0,002	0,000	0,736	33,849	0,000

El análisis de correlación entre las concentraciones de NH_3 y CO_2 proporciona una correlación positiva. Esto indica que, cuando la concentración de NH_3 aumenta, también lo hace la de CO_2 .

Relación entre NH_3 e HR

Tomando como variable dependiente la concentración de NH_3 y como variable independiente la HR (tabla 6) se obtuvo un valor de R^2 de 0,510, el cual significa que la evolución de la variable concentración de NH_3 , se puede explicar en un 51,0% en función del valor de la concentración de HR. Este valor es mayor del obtenido por Choi *et al.* (2005) para granjas con emparrillado y cerdos de cebo, concretamente un 0,44 lo que muestra una menor dependencia entre ambas. La relación presenta un error del 1,56 ppm que indica el margen dentro del cual se puede predecir la estimación de NH_3 . El error relativo con respecto a la media está en un 40%, mientras que con respecto al máximo se sitúa en el 15%.

Tabla 6: Resultados obtenidos en el modelo de relación NH_3 -HR mediante regresión lineal

R	R^2	R^2 corregido	Error típ. de la estimación	Media cuadrática
0,715	0,511	0,510	1,56	2,423

En la tabla 7 se muestra un nivel de significancia de 0,000 entre ambas variables lo que explica que la relación existente es muy significativa y no es debida al azar. A partir de los coeficientes obtendríamos la recta de regresión, ecuación (2), a partir de la cual se podría modelar la estimación de la variable concentración de NH_3 .

$$y = 0,210x - 8,441 \quad (2)$$

Donde:

y= concentración de NH_3

x= humedad relativa HR

Tabla 7: Coeficientes del modelo de relación de la concentración de NH_3 con respecto a HR mediante regresión lineal

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Sig.
	B	Error típ.	Beta	t	
(Constante)	-8,441	0,393		-21,467	0,000
HR	0,210	0,007	0,715	31,798	0,000

Relación entre CO_2 y HR

Mediante un análisis de dependencias con regresión lineal se obtuvo un valor de R^2 de 0,816 (Tabla 8) lo cual significa que la evolución de la variable concentración de CO_2 se puede explicar en un 81,6% en función del valor de la HR. La relación presenta un error de 407,29 que indica el margen dentro del cual se puede predecir la estimación de CO_2 . Teniendo en cuenta que la media de CO_2 es de 3675,63 ppm en el período analizado, el error relativo se sitúa en el 11%, y con respecto a la concentración máxima el error relativo es del 7%.

Tabla 8: Resultados obtenidos en el modelo de relación CO_2 -HR mediante regresión lineal

R	R^2	R^2 corregido	Error típ. de la estimación	Media cuadrática
0,903	0,816	0,816	407,29	7,120E8

En la tabla 9 se muestra un nivel de significancia de 0,000 entre las variables lo que explica que la relación existente es muy significativa no es debida al azar. A partir de los coeficientes obtendríamos la recta de regresión, ecuación (3), con la cual se podría modelar la estimación de la variable concentración de CO₂.

$$y = 113,3x - 3510,912 \quad (3)$$

Donde:

y= concentración de CO₂

x= humedad relativa HR

Tabla 9: Coeficientes del modelo de relación CO₂-HR mediante regresión lineal

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-3510,912	102,877		-34,127	0,000
HR	113,300	1,729	0,903	65,512	0,000

Relación entre concentración de NH₃ y variables de actividad animal, temperatura y ventilación

Kavoelis (2003) encontró una correlación positiva casi perfecta entre la concentración de NH₃ y la intensidad de la ventilación, con un R² de 0,99, recomendando para futuras investigaciones evaluar otros factores. Por tanto, se realizó una regresión múltiple para predecir la concentración de NH₃ a partir de variables de más fácil medición (tabla 10). Las variables seleccionadas caracterizan la actividad animal, la temperatura y la ventilación del alojamiento ganadero. La significación estadística de cada coeficiente muestra que todas las variables predictoras en los análisis multivariantes son significativas para la estimación de la concentración de NH₃. El nivel de significancia de todos los modelos es válido (0,004 – 0,000), aunque la relación entre la concentración de NH₃ y la actividad animal es significativa, el R² es muy bajo (0,011). Por tanto, en este caso no es posible realizar una estimación apoyada únicamente en esta variable, en contra de lo establecido tanto por Sousa y Pedersen (2004) que obtuvieron un R² de 0,48 en la relación entre la actividad animal y la concentración de NH₃, como por Blanes-Vidal *et al.* (2008) que correlaciona las variaciones diurnas de amoníaco con las variaciones diurnas de actividad con un R² de 0,940. Algo similar ocurre con la relación entre la concentración de NH₃ y las tres temperaturas analizadas, con un valor de R² de 0,291, frente al R² de 0,57 encontrado por Choi *et al.* (2005) entre la temperatura y la concentración de amoníaco. La introducción de las variables concentración de CO₂ y velocidades del aire en el alojamiento y en la salida a través del ventilador, da lugar a un incremento considerable de la relación entre estas y la concentración de NH₃ (R²=0,595). La incorporación de la HR y de las temperaturas en el modelo anterior no produce incrementos importantes de R² (0,603 y 0,651 respectivamente), lo cual es debido en parte a la mutua dependencia entre estas variables y el CO₂.

Conclusiones

En el presente trabajo se pretende la estimación de la concentración de NH₃ a partir de otras variables ambientales de más fácil medición y que puedan influir en su valor. El

análisis de correlación entre la concentración de NH_3 tanto con la concentración de CO_2 ($R^2 = 0,541$), como con la humedad relativa ($R^2 = 0,510$) proporcionó relaciones lineales positivas muy significativas. Así mismo, se manifiesta una clara dependencia lineal entre la concentración de CO_2 y la humedad relativa ($R^2 = 0,816$). La mayoría de los valores de HR se situaron entre el 50 y 70 %, mientras las concentraciones de NH_3 y de CO_2 estaban por debajo de 7 y 4000 ppm, respectivamente. Esta relación es útil para la estimación y control de la concentración de NH_3 y de CO_2 , puesto que, niveles adecuados de humedad garantizan bajas concentraciones de NH_3 y de CO_2 .

Tabla 10: Resumen de regresiones múltiples obtenidas para la relación entre la concentración de NH_3 y variables de actividad animal, temperatura y ventilación.

Modelo	Variables introducidas ^a	Variables eliminadas				
1	NH ₃					
Forward step wise method						
	Variables introducidas ^b		Variables eliminadas			
1	KGPIR3,KGPIR4					
2	T7,T10, TH2					
3	CO ₂ ,VEX,VIN					
4	CO ₂ ,VEX,VIN,H _R					
5	CO ₂ ,VEX,VIN,H _R , TH2,TA7					
Resumen Modelo						
Modelo	R	R ²	R ² corregido	Error típico de la estimación		
1	0,107 ^b	0,011	0,009	2,21362		
2	0,542 ^c	0,294	0,291	1,87216		
3	0,773 ^d	0,597	0,595	1,41510		
4	0,778 ^e	0,605	0,603	1,40090		
5	0,808 ^f	0,653	0,651	1,31433		
ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	54,848	2	27,424	5,597	,004
	Residual	4743,297	968	4,900		
	Total	4798,145	970			
2	Regresión	1408,835	3	469,612	133,984	0,000
	Residual	3389,310	967	3,505		
	Total	4798,145	970			
3	Regresión	2744,369	3	914,790	430,720	0,000
	Residual	2053,776	967	2,124		
	Total	4798,145	970			
4	Regresión	2863,730	4	715,933	357,520	0,000
	Residual	1934,414	966	2,002		
	Total	4798,145	970			
5	Regresión	3132,871	6	522,145	302,262	0,000

Residual	1665,273	964	1,727
Total	4798,145	970	

^a Variable dependiente: NH₃; ^bPredictoras:(constante). KGPIR3,KGPIR4;
^cPredictoras:(constante). T7 ,T10,TH2; ^dPredictoras:(constante).CO2,VEX,VIN.; ^ePredictoras:
(constante). CO2,VEX,VIN,HR.; ^fPredictoras: (constante). CO2,VEX,VIN,HR, TH2,TA7.

Las relaciones entre la concentración de NH₃ y la actividad animal, así como con las tres temperaturas analizadas son muy bajas con valores de R² de 0,009 y 0,291 respectivamente. Por lo tanto, en contra de lo esperado, no es posible realizar una estimación de la concentración de NH₃ apoyada únicamente en estas variables.

La relación entre la concentración de NH₃ y la concentración de CO₂ y las velocidades de aire en el alojamiento y en la salida a través del ventilador, con un valor de R² de 0,595, nos indica que la ventilación es el factor clave en la determinación y predicción de la concentración de NH₃.

El control de la ventilación incorporando la variable de HR daría como resultado un control indirecto sobre las concentraciones de gases nocivos como el NH₃ y el CO₂, por lo que se garantizará un ambiente de mayor calidad para los animales.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del proyecto de investigación **Estrategias de control y automatización para la eficiencia energética y productiva en explotaciones porcinas de destete**, perteneciente a los programas sectoriales de investigación aplicada, PEME I+D Suma del Plan Gallego de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica, en el marco del programa operativo FEDER Galicia 2007-2013.

Bibliografía

- Aarnink, A.J.A., Swierstra, D., Van den Berg, A.J., Speelman, L., 1997. Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agriculture Engineering Research* 66: pp 93-102.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Perdersen, S., Rom, H.B., 2008. Emissions of ammonia methane and nitrous oxide from pigshouses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124: pp 237-244.
- Bottcher, R., Mathis, S., Roberts, J., 2001. Monitoring air quality with instruments. *Proceedings of the North Carolina Healthy Hogs Seminar*. North Carolina Cooperative Extension Service.10 pp.
- CIGR December, 2002. International Commission of Agricultural Engineering, Section II4th Report of Working Group on Climatization of Animal HousesHeat and moisture production at animal and house levels.
- Choi, H.L., Kim, K.Y., Kim,H. ,2005. Correlation of air pollutants and thermal environment factors in a confined pig house in winter. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 18(4): pp 574-579.
- Close, W., 2006. Environmental housing requirements: Climatic needs and responses of pigs. *The Pig Site*.
- Donham, K., Thorne, P., Breuer, G., Powers, W., Marquez, S., Reynolds, S., 2002. Exposure limits related to air quality and risk assessment. *Iowa concentrated Animal Feeding Operations Air Quality Study*, p 164.
- Drummond, J., Curtis, S., Simon, J., Morton, H., 1980. Effects of aerial ammonia on the growth and health of young pigs. *Journal of Animal Science* 50: p 1085.

- Forcada, F. (1997). Alojamiento para ganado porcino. *Mira Editores, Zaragoza*.
- Hansen, M. N., Sommer, S. G., Madsen, N. P., 2003. Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: injection efficiency and additional energy demand. *Journal of Environmental Quality* 32: pp 1099-1104.
- Kavoelis, B., 2003. Influence Ventilation rate on ammonia concentration and emission in animal house. *Polish Journal of Environmental Studies* 12(6): pp 709-712.
- Liang, Y., Xin, H., Tanaka, A., Lee, S. H., Li, H., Wheeler, E. F., Gates, R. S., Zajackowski, J. S., Topper, P., Casey, K. D., 2003. Ammonia emissions from layer houses in Iowa. *International Symposium on Gaseous and Odour emissions from animal production facilities*, 1-9. Horsens, Denmark.
- Pedersen, B. 2005. Calidad del aire. <http://www.3tres3.com>.
- Phillips, V. R., Lee, D. S., Scholtens, R., Garland, J. A., Sneath, R. W., 2001. A review of methods for measuring emission rates of ammonia from livestock buildings and slurry on manure stores, Part 2: monitoring flux rates, concentrations and airflow rates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78(1): pp 1-14.
- Sousa, P. and Pedersen, S. 2004. Ammonia Emission from Fattening Pig Houses in Relation to Animal Activity and Carbon Dioxide Production. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Vol.VI.
- Wheeler, E. F., Weiss, R. W. J., Weidenboerner, E., (2000). Evaluation of instrumentation for measuring aerial ammonia in poultry houses. *Journal of Applied Poultry Research* 9(4): pp 443-452.
- Wilhelm, L. R., Milner, J. M., Snyder, S. D., McKinney, D. B. (2001). An instrumentation system for environmental measurements in broiler and swine housing. *Applied Engineering in Agriculture* 17 (5): pp 677-681.

PA02 - Evolución del consumo diario de agua en lechones de 6 a 20 kg de peso vivo

Besteiro, R.¹; Souto, V.G.¹, Arango, T.¹, Rodríguez, M.R.¹, Fernández, M.D.¹

¹ Grupo de investigación GI-1720, Energía, Mecanización y Modelización Agroforestal, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n 27002 Lugo, roberto.besteiro@rai.usc.es; valentin.garcia@rai.usc.es; tamara.arango@rai.usc.es; manuelramiro.rodriguez@usc.es; mdolores.fernandez@usc.es

Resumen

En las explotaciones porcinas de destete el lechón presenta requerimientos ambientales muy variables, ya que va a triplicar su peso, pasando de 6 a 20 kg de peso vivo en un período aproximado de 6 semanas. Por ello el funcionamiento de las instalaciones de climatización debe de tener en cuenta esta evolución, incluyendo consignas variables que adecúen el ambiente a sus requerimientos. Esto permitirá una mejor coordinación de las instalaciones de climatización con la consiguiente mejora del bienestar animal y de la eficiencia energética y productiva. El consumo de agua puede resultar un parámetro de gran interés en el establecimiento de nuevas estrategias de control que permitan la incorporación del lechón al control ambiental, posibilitando la detección de anomalías en el funcionamiento de las instalaciones, ventilación y calefacción fundamentalmente, así como problemas fisiológicos o sanitarios en los animales. La fase experimental de este trabajo se llevó a cabo durante dos semanas, en un ciclo de primavera, en una sala de destete de una explotación de producción de lechones, de 4.985 madres de capacidad autorizada, en Abegondo (A Coruña). El objetivo es caracterizar el consumo de agua en condiciones convencionales de explotación, para su inclusión en el sistema de control y gestión de la explotación. Se analizó también su relación con la actividad animal y la temperatura y las posibles correlaciones entre ellas. El consumo diario de agua presentó dos picos bien diferenciados durante la tarde, coincidiendo las temperaturas más elevadas entre ambos picos. Si se analizan los coeficientes de correlación entre ambos parámetros se comprueba una correlación directa con valores de 0,91.

Palabras clave: Porcino, destete, temperatura, consumo de agua

Daily water intake evolution in weaned pigs from 6 to 20 kg live weight

Abstract

In the weaning farm, weaned pigs show variables environmental requirements, because they are going to triplicate their weight from 6 to 20 kg live weight about 6 weeks. Therefore, the operation of the air conditioning system must consider this evolution, including variables instructions which adapt the environment to their requirements. A better coordination of the air-conditioning will be allowed improving the animal welfare and the energy and production efficiency. So, water intake could be a very interesting parameter in the establishment of new control strategies, which take into account the piglets in the environment control. It would be possible to detect anomalies in the installation operation, ventilation and heating primarily, as well as physiological or health problems in animals. The experimental phase was carried out for two weeks, in a spring cycle, in a weaning room of a weaning pig farm, with authorized capacity to 4.985 sows, in Abegondo (A Coruña). The target is to characterize the water intake in conventional operating conditions, to include it in the control system and farm management. Its relation with animal activity and temperature was analyzed too, as well as possible correlation between them. The water intake shows two distinct maximums during the afternoon, and higher temperatures coincide between both peaks. If the correlation coefficient between water and temperature is analysed, there are a direct correlation with a value of 0,91.

Keywords: Porcine, weaning, temperature, water intake.

Introducción y/o Justificación

El sector porcino ha experimentado un importante aumento de tamaño, lo que hace necesario la incorporación de nuevas tecnologías tanto para el control ambiental como para el manejo de los animales. De esta forma se puede lograr una mayor eficiencia tanto a nivel energético, como ambiental y del bienestar animal.

Tradicionalmente, las decisiones de gestión en las explotaciones de porcino se han basado en juicios subjetivos. Normalmente, este tipo de decisiones se derivan de una combinación de fuentes de información incluyendo observaciones visuales de los cerdos (agresiones), de los corrales (signos de diarrea), u otras señales (temperatura) así como los resultados de los registros mensuales o trimestrales de rendimiento según Madsen y Kristensen (2005). Debido a la tendencia actual de aumentar la relación de animales por trabajador, el sector se encuentra en la tesitura de empeorar los cuidados animales o intentar paliar esta situación mediante la tecnificación e incorporación de nuevas tecnologías a las explotaciones según HSUS (2010).

Hay acuerdo general en que el bienestar animal podría medirse indirectamente a través de indicadores tales como el comportamiento animal como dice Smidt (1983), aunque más recientemente se aboga por un estudio más completo de la actividad diaria de los animales, más allá del comportamiento, midiendo diversos parámetros como el consumo de agua o pienso o las concentraciones de gases como NH₃, CO₂ o N₂O (Rahman y Newman, 2012; Stinn *et al.*, 2014).

Se ha demostrado que en situaciones normales de explotación, el consumo diario de pienso y agua sigue un patrón diurno estable (Madsen *et al.*, 2005; Madsen y Kristensen, 2005; Villagrà *et al.*, 2007). También se ha comprobado que cambios en estos patrones de consumo de pienso y agua normalmente indican que el animal está experimentando algún tipo de estrés ambiental según Bigelow y Houpt (1988), aparición de enfermedades, cambios en la calidad del pienso o problemas en la ventilación (Kashiha *et al.*, 2013). Debido a que existe un patrón de consumo específico se puede utilizar este parámetro para predecir problemas de salud o de producción y de control del bienestar de un lote de animales (Meiszberg *et al.*, 2009).

El agua es el componente principal del cuerpo de los cerdos, supone más de un 60% de su peso corporal. Está involucrada en prácticamente todas las funciones corporales y es una parte esencial de los requisitos nutritivos y de bienestar de los cerdos. El 75% de la ingesta de agua se encuentra asociada al consumo de alimentos según Bigelow y Houpt (1988). Se han desarrollado sistemas para la detección automática de los cambios en el consumo de agua diurna (Madsen y Kristensen, 2005; Madsen *et al.*, 2005) y que se pueden utilizar como herramientas de control de bienestar animal.

El consumo de pienso además de estar muy relacionado con problemas de salud o ambientales, está muy influenciado también por el comportamiento social del grupo, de tal forma que, incrementando la competencia social, disminuye el número de visitas a los comederos y aumenta la ingesta de pienso por minuto (De Haer y De Vries, 1993; Nielsen *et al.*, 1995). De igual forma, si aumenta la temperatura, disminuye el número de visitas a los comederos, pero sin afectar al consumo por unidad de tiempo (Quiniou *et al.*, 2000). En vista de la relación entre la temperatura y el pienso, es probable que existan similares interacciones para el consumo de agua.

(McDonald *et al.*, 1996; Turner *et al.*, 1999) encontraron que incrementando la competencia alrededor de los bebederos se reduce el número de visitas y el tiempo empleado por cerdo y día, pero no encontraron diferencias en el consumo de agua. Esto sugiere que los cerdos son capaces de adaptar su velocidad de ingesta al nivel de competencia en el corral.

En el presente trabajo se analiza la evolución del consumo de agua registrada en una explotación de producción de lechones de 6 a 20 kg de peso vivo durante dos semanas en una granja del Noroeste peninsular. El objetivo es caracterizar el consumo de agua en condiciones convencionales de explotación, para su inclusión en el sistema de control y gestión de la explotación. Se analiza también su relación con la actividad animal y la temperatura y la posible existencia de correlaciones entre ellas.

Material y Métodos

La fase experimental se llevó a cabo durante dos semanas, del día 30 de abril al 13 de mayo de 2013 inclusive en un ciclo de primavera, en una sala de destete de una explotación de producción de lechones, de 4.985 madres de capacidad autorizada, en Abegondo (A Coruña). En el momento de iniciarse el ensayo, los lechones tenían 40 días de edad (3ª semana post-destete).

La sala de destete donde se realizaron las mediciones tiene unas dimensiones interiores de 11,82 m de largo por 5,86 m de ancho, con una altura interior de 2,50 m en la zona de cumbrera y 2,25 m en la pared exterior. La sala cuenta con 6 corrales a ambos lados del pasillo central, siendo su capacidad de 300 lechones alimentados *ad libitum*. La instalación de ventilación está constituida por un extractor helicoidal de pared de 500 mm de diámetro, 230 voltios, 50 Hz, 1.330 rpm y 480 W de potencia. La entrada de aire se realiza mediante dos ventanas con deflectores de aire, situadas en el cerramiento opuesto al ventilador a ambos lados de la puerta de acceso a la sala. La instalación de calefacción por suelo radiante está constituida por dos placas calefactoras en la zona central de cada corral. Las placas calefactoras son para agua caliente, fabricadas en poliéster con unas dimensiones de 1,20x0,40 m y 2,90 litros de capacidad. Los sensores fueron instalados en la zona animal, midiendo las condiciones que rodean los lechones, en la zona central, protegidos por una jaula y a una altura de 0,40 m. Estos fueron situados en la zona colindante entre los dos corrales centrales. Los detectores de presencia se instalaron encima de la puerta de entrada a la sala.

Las variables objeto de estudio se midieron con los siguientes sensores:

- El consumo de agua de los corrales de control fue medido a con un caudalímetro modelo M170 de Elster Iberconta. Este caudalímetro dispone de la funcionalidad de la emisión de pulsos, a través del acoplamiento al equipo de un emisor, que enviaba un pulso al colector por cada litro de agua contabilizado (modelo Retrofit S100/M170, con tecnología Reed).
- La actividad animal fue medida mediante un sensor de presencia con una cobertura de medición de 12x12 m y 85°, y una velocidad de detección entre 0,3-1,5 m/s. Se ubicó encima de la puerta principal de entrada, a una altura de 2,00 m de manera que registraba el movimiento de la totalidad de los corrales de la sala. El sensor utilizado es un modelo RX-40QZ del fabricante OPTEX. Se trata de un sensor tipo PIR (infrarrojo pasivo) según la metodología propuesta por Pedersen y Pedersen (1995).

- La temperatura en la zona animal fue medida con una sonda S-THB-M00x (Ontex), con un rango de medición desde -40°C hasta 75°C. El sensor se instaló a una altura de 0,40 m para que registrara las condiciones ambientales que soportaban los lechones.
- Para el almacenamiento de datos se emplearon dos colectores: HOBO® FlexSmart (15 canales, con 6 canales para sensores inteligentes y 3 conexiones para módulos analógicos) para la temperatura y Campbell Sci (24 canales de medición analógica, 8 puertos I/O) para el consumo de agua y actividad animal.

Las mediciones fueron realizadas a cada segundo almacenándose su promedio cada 10 minutos, a excepción del sensor de presencia, en el que se almacenó el sumatorio de tiempos de actividad a intervalos de 10 minutos. Posteriormente, se descargaron los datos almacenados en los colectores en un equipo informático, y con ayuda de la hoja de cálculo Excel 2010, se realizó un análisis estadístico de los valores registrados. Semanalmente se analizaron la evolución diaria, el valor medio, máximo y mínimo y la desviación estándar de las variables medidas, consumo de agua, temperatura y actividad animal, posibles correlaciones entre variables, y los patrones de comportamiento de la actividad de los lechones que se habían podido repetir al largo de los días.

Resultados y Discusión

Se han estudiado 2 semanas de un ciclo de primavera de producción de lechones de 6 a 20 kg de peso vivo. Los valores máximos, mínimos, medias diarias así como las desviaciones estándar se pueden observar en la Tabla 1:

Tabla 1. Resumen de los valores obtenidos

SEMANA 1	Agua (l/día)	Temperatura (°C)	Actividad (s/día)
Media diaria	373,45	25,90	1109,39
Máximo	536,50	26,83	1648,78
Mínimo	296,38	25,01	721,46
Desviación estándar	79,14	0,74	385,02
SEMANA 2	Agua (l/día)	Temperatura (°C)	Actividad (s/día)
Media diaria	430,67	24,43	1936,14
Máximo	506,00	25,54	3394,93
Mínimo	379,67	24,05	1388,22
Desviación estándar	41,24	0,52	745,96

El consumo de agua, como ya se ha dicho anteriormente, se ha monitorizado en dos de los corrales centrales, cada uno de los cuales contaba con 19 lechones. El consumo medio semanal aumentó en la segunda semana así como el consumo mínimo (tabla 1) como ya han relacionado Madsen *et al.* (2005) y Frederick *et al.* (2006). Sin embargo, el consumo máximo fue mayor en la primera semana debido a un consumo anormal durante un día, lo que provocó un incremento de la desviación estándar.

En lo relativo a la temperatura, se puede apreciar que no hubo grandes variaciones dentro de la misma semana, aunque sí entre semanas, con un descenso superior a un grado, como recomienda Le Dividich y Herpin (1994).

La actividad animal registrada fue superior en la semana 2 debido a que fisiológicamente los animales van aumentando gradualmente su actividad diaria a

medida que crecen. Además, al ir incrementado su tamaño, son más fácilmente detectados por los sensores lo que posibilita un mejor reflejo de su actividad según Pedersen y Pedersen (1995).

Como se puede observar en la Figura 1, durante las dos semanas de duración del ensayo, se aprecia un patrón diario de ingesta de agua. Durante la noche, el consumo es mínimo, superando escasamente los 5 l/h. A partir de las 6:00 horas (GTM+1) aumenta claramente el consumo, hasta las 14:00 horas en las que se observa un máximo relativo. En la siguiente hora, el consumo desciende para luego alcanzar el pico absoluto de consumo a las 18:00, donde se sobrepasan los 35-45 l/h, dependiendo de la fase del ciclo en la que se encuentran los animales. En las horas finales del día se produce un fuerte descenso, pasando de 35/45 litros/hora a 5 litros/hora en tan sólo 4 horas (22:00 horas).

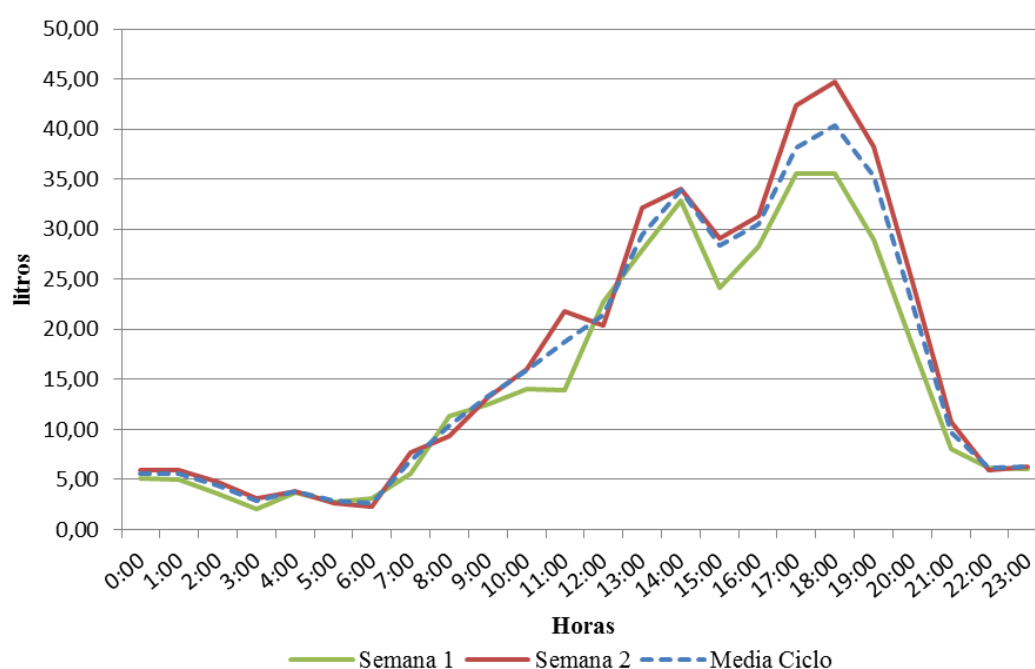


Figura 1. Patrón diario del consumo de agua

En la Figura 1 se observa la evolución del consumo horario de agua para un día tipo, tanto para la semana 1 como para la semana 2 como para la media del ciclo; ya que si se compara la curva de la semana 1 con la curva de la semana 2, coinciden los horarios de ingesta de agua, corroborado por el coeficiente de Pearson (r) entre las dos semanas, con un valor de 0,98, un valor muy elevado, más aun teniendo en cuenta la tipología del ensayo, ya que se trabaja con seres vivos en una explotación convencional. La semana 2 tiene un consumo más elevado debido a los cambios fisiológicos que experimenta el lechón, de tal forma que, en las etapas juveniles, al aumentar el peso, se incrementa también las necesidades de agua (Madsen *et al.*, 2005).

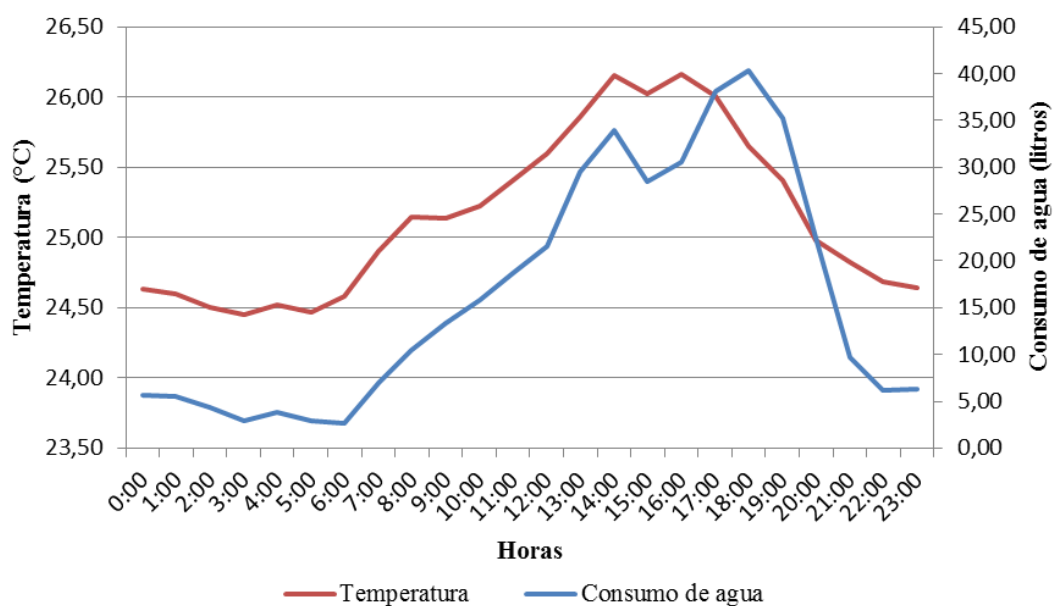


Figura 2. Comparativa de la evolución horaria del consumo de agua y de la temperatura en la zona animal

En la Figura 2 se puede observar una estrecha relación entre la temperatura y el consumo de agua, obteniéndose un coeficiente de correlación lineal de 0,91, de tal forma que a medida que aumenta o disminuye la temperatura, lo hace también la ingesta de agua, lo que corrobora que la temperatura es uno de los factores que más influye en el consumo de agua de los animales (Kashiha *et al.*, 2013; Bigelow y Houpt, 1988). También se observa un ligero desfase en el tiempo, es decir, que las variaciones de temperatura provocan variaciones en la ingesta de agua tras un determinado tiempo.

La actividad animal se inicia en torno a las 6:00 horas, instante a partir del cual se incrementa el consumo de agua (figura 3). Durante las mediciones se registraron 3 picos de actividad, al igual que encontraron Arango *et al.* (2013). A medida que avanza el día la actividad se va incrementando, con picos a las 11:00 y a las 14:00 horas, instante a partir del cual baja la actividad, remontando ligeramente a las 17:00 horas. A partir de esta hora la actividad es mínima reanudándose nuevamente a las 6:00 horas.

Si se compara la actividad semanal, se aprecia que aumenta con la edad. Esto es debido a dos factores: (1) los animales a medida que van creciendo en estas fases del ciclo van aumentando su actividad, y (2) que al aumentar el tamaño de los animales, son mejor detectados. La correlación de Pearson entre la actividad de las dos semanas es de 0,93.

Al superponer las curvas de consumo de agua y de actividad (Figura 3) se comprueba que los picos de consumo de agua van asociados a picos de actividad como los de las 14:00 o 17:00 horas (figura 3). También coinciden los descensos de actividad con los de ingesta de agua. Al igual que con la temperatura, las variaciones de ingesta de agua se producen con cierto retraso con respecto a las de actividad. El coeficiente de correlación lineal el consumo de agua y la actividad alcanza un valor de 0,82.

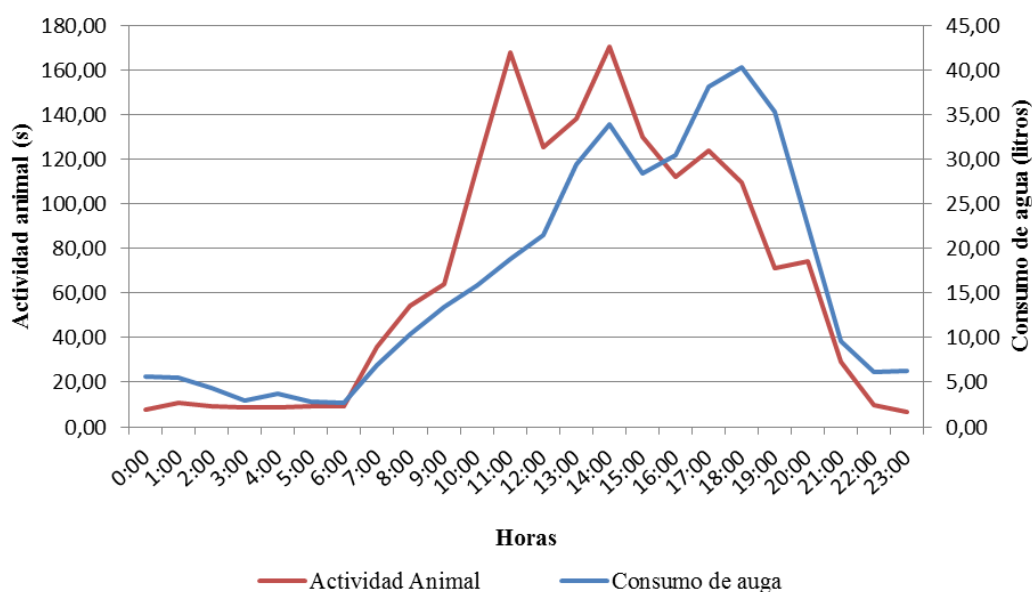


Figura 3. Comparativa de la evolución horaria del consumo de agua y de la actividad animal

Conclusiones

El consumo de agua durante las dos semanas de duración del estudio, presentó un patrón claro de consumo ($r=0,98$), con dos picos de ingesta a las 14:00 y a las 18:00. Este consumo está muy relacionado con la temperatura del local ($r=0,91$), de tal forma que a mayor temperatura, mayor ingesta de agua. La actividad animal también registró una alta correlación ($r=0,82$) con el consumo de agua de bebida. La ingesta de agua es una consecuencia de los valores de temperatura y de la actividad animal por lo que incrementos en estas dos últimas variables provocan cierto tiempo después la necesidad de ingerir agua por los animales.

La ingesta de agua es una variable indicadora del estado del animal relacionada con las variables temperatura y actividad animal. Su facilidad de medición puede proporcionar a bajo coste información valiosa para la determinación del funcionamiento de los equipos de climatización y del estado fisiológico de los animales mediante la implementación de los patrones de consumo en los sistemas de control y gestión de la explotación.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del proyecto de investigación **Estrategias de control y automatización para la eficiencia energética y productiva en explotaciones porcinas de destete**, perteneciente a los programas sectoriales de investigación aplicada, PEME I+D Suma del Plan Gallego de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica, en el marco del programa operativo FEDER Galicia 2007-2013.

Bibliografía

- Arango, T., Ortega, J., Rodríguez, M., Fernández, M. y Osorio, L. (2013). Caracterización de la actividad animal en alojamientos porcinos de la fase de destete. VII Congreso ibérico de agroingeniería y ciencias hortícolas. Ref. N° C0133
- Bigelow, J. A. y Houpt, T. R. (1988). Feeding and drinking patterns in young-pigs. *Physiology & Behavior* 43, 99-109.
- De Haer, L. y De Vries, A. (1993). Feed intake patterns of and feed digestibility in growing pigs housed individually or in groups. *Livestock Production Science* 33, 277-292.
- Frederick, B. R., van Heugten, E. y See, M. T. (2006). Effects of pig age at market weight and magnesium supplementation through drinking water on pork quality. *Journal of Animal Science* 84, 1512-1519.
- HSUS. (2010). The Welfare of Animals in the Pig industry. The Humane Society of the United States (HSUS).
- Kashiha, M., Bahr, C., Haredasht, S. A., Ott, S., Moons, C. P. H., Niewold, T. A., Odberg, F. O. y Berckmans, D. (2013). The automatic monitoring of pigs water use by cameras. *Computers and Electronics in Agriculture* 90, 164-169.
- Le Dividich, J. y Herpin, P. (1994). Effects of climatic conditions on the performance, metabolism and health status of weaned piglets: a review. *Livestock Production Science* 38, 79-90.
- Madsen, T. N., Andersen, S. y Kristensen, A. R. (2005). Modelling the drinking patterns of young pigs using a state space model. *Computers and Electronics in Agriculture* 48, 39-62.
- Madsen, T. N. y Kristensen, A. R. (2005). A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour. *Computers and electronics in agriculture* 48, 138-154.
- McDonald, L., Crane, J., Stewart, A., Edwards, S. y English, P. (1996). The effect of drinking trough space on the performance and behaviour of growing pigs in large groups on deep bedded straw. *Anim. Sci* 62, 677-678.
- Meiszberg, A., Johnson, A., Sadler, L., Carroll, J., Dailey, J. y Krebs, N. (2009). Drinking behavior in nursery pigs: Determining the accuracy between an automatic water meter versus human observers. *Journal of animal science* 87, 4173-4180.
- Nielsen, B. L., Lawrence, A. B. y Whittemore, C. T. (1995). Effect of group size on feeding behaviour, social behaviour, and performance of growing pigs using single-space feeders. *Livestock Production Science* 44, 73-85.
- Pedersen, S. y Pedersen, C. B. (1995). Animal activity measured by infrared detectors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 61, 239-246.
- Quiniou, N., Renaudeau, D., Dubois, S. y Noblet, J. (2000). Influence of high ambient temperatures on food intake and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Animal Science* 70, 471-479.
- Rahman, S. y Newman, D. (2012). Odor, ammonia, and hydrogen sulfide concentration and emissions from two farrowing-gestation swine operations in north dakota. *Applied Engineering in Agriculture* 28, 107-115.
- Smidt, D. (1983). Advances and problems of using integrated systems of indicators as compared to single traits. In: Smidt, D. (Ed.), *Indicators Relevant to Farm Animal Welfare*. Martinus Nijhoff Publishers, Boston, MA.
- Stinn, J. P., Xin, H. W., Shepherd, T. A., Li, H. y Burns, R. T. (2014). Ammonia and greenhouse gas emissions from a modern US swine breeding-gestation-farrowing system. *Atmospheric Environment* 98, 620-628.
- Turner, S., Edwards, S. y Bland, V. (1999). The influence of drinker allocation and group size on the drinking behaviour, welfare and production of growing pigs. *Animal Science*.

Villagr , A., Althaus, R. L., Lainez, M., Martinez, A. B. y Torres, A. G. (2007). Modelling of daily rhythms of behavioural patterns in growing pigs on two commercial farms. *Biological Rhythm Research* 38, 347-354.

PA03 - Utilização de minhocas (*Eisenia fetida* Savigny, 1826) na alimentação de achigãs (*Micropterus salmoides*, Lacépède, 1802) – resultados preliminares

Rodrigues, A.M.^{1,2}, Lourenço, J.M.¹, Mateus, P.¹, Blasco Ruís, M.³,

¹ Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Qta Sra Mércules, 6001-909 Castelo Branco, Portugal, amrodrig@ipcb.pt. ² CERNAS-IPCB ³ Universidad de Extremadura, Avenida de Elvas, Km. 2, 06071 Badajoz, España, mblasco@unex.es.

Resumo

A minhoca (*Eisenia fetida* Savigny, 1826) é uma boa fonte de proteína. O elevado teor em humidade (82,80% \pm 2,128) e cinzas (10,70% \pm 2,345), principalmente terra, poderão ser um fator limitante à sua utilização como alimento para peixes. Com o objetivo de avaliar o interesse da utilização de *E. fetida* na alimentação de peixes, em 23 setembro 2014 foram capturados 22 juvenis de achigã (*Micropterus salmoides* Lacépède, 1802) (0+ anos) numa pequena barragem de rega (N 39°49'27,89"; O 07°26'57,92"). Os achigãs foram colocados em três aquários para habituação a um alimentos compostos comercial. Três semanas depois 86,4% já ingeriam o alimento. A taxa de sobrevivência foi de 100%. Em 13 outubro 2014 foram escolhidos aleatoriamente 16 achigãs e colocados em dois aquários (8 peixes/aquário; 0,048m³ de água). Os valores médios iniciais de peso, comprimento, fator K e densidade foram semelhantes nos dois aquários. No aquário G1 (minhocas) e aquário G2 (alimento composto) o peso, o comprimento, o fator K e a densidade iniciais foram, respetivamente, 13,62g (\pm 3,171) e 13,40g (\pm 3,002) (P>0,05); 10,49cm (\pm 0,757) e 10,39cm (\pm 0,649) (P>0,05); 1,160 (\pm 0,043) e 1,179 (\pm 0,082) (P>0,05); 2,27kg/m³ e 2,23kg/m³. No nosso estudo laboratorial a temperatura média da água variou entre 19,9°C e 16,8°C. Como em Portugal não se produzem alimentos específicos para achigãs foi utilizado um alimento composto comercial formulado para douradas (*Sparus aurata* L., 1758) e robalos (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) (proteína 49,74%MS; gordura 18,07%MS; cinzas 11,57%MS; fibra bruta 0,84%MS; humidade 6,55%). No dia 88 do estudo (09 janeiro 2015) os valores médios de peso, comprimento, fator K e densidade nos aquários G1 e G2 foram, respetivamente, 17,57g (\pm 4,071) e 19,19g (\pm 4,811) (P<0,05); 10,88cm (\pm 0,875) e 11,29cm (\pm 0,871) (P<0,05); 1,346 (\pm 0,051) e 1,311 (\pm 0,061) (P>0,05); 2,93kg/m³ e 3,20kg/m³. Os resultados obtidos até agora parecem indicar que a *E. fetida* pode ser utilizada na alimentação de achigãs.

Palabras clave: alimento composto, fator K, ganho de peso, índice de conversão.

Earthworm (*Eisenia fetida* Savigny, 1826) as largemouth bass (*Micropterus salmoides*, Lacépède, 1802) feed - first results.

Abstract

Redworm (*Eisenia fetida* Savigny, 1826) have been found to be a very good source of protein. Chemical composition are important factor in selecting redworms as aquaculture feed but the high moisture (82.80% \pm 2.128) and ash (10.70% \pm 2.345) content, mainly soil, could be an inconvenient. On September 23, 2014 twenty two juvenile largemouth bass (LB) (*Micropterus salmoides* Lacépède, 1802) (0+ years) were caught from a small irrigation dam (N 39°49'27,89"; W 07°26'57,92"). Juveniles LB were stocked in three aquarium for commercial compound feed training. After 3 weeks 86.4% are well trained. During the compound feed training period the survival rate was 100%. On October 13, 2014 sixteen feed-trained individuals were randomly selected and stocked in two aquarium (8 LB per aquaria with 0,048m³ of water). LB initial average weight, average length, average K condition factor and density were similar in two aquarium. In aquaria G1 (feed redworm) and aquaria G2 (feed commercial compound) LB weight, length, K condition factor and density were, respectively, 13.62g (\pm 3.171) and 13.40g (\pm 3.002) (P>0.05); 10.49cm (\pm 0.757) and 10.39cm (\pm 0.649) (P>0.05); 1.160 (\pm 0.043) and 1.179 (\pm 0.082) (P>0.05); 2,27kg/m³ and 2,23kg/m³. In our laboratorial experiment, aquarium average water temperature

range between 19.9°C and 16.8°C. Because in Portugal there are no specific commercial feed for largemouth bass we used a commercial compound for seabream (*Sparus aurata* L., 1758) and European seabass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) (protein 49.74%DM; fat 18.07%DM; ash 11.57%DM; crude fiber 0.84%DM; moisture 6.55%). On day 88 (January 9, 2015) of this study average weight, length, K condition factor and density in aquaria G1 and aquaria G2 were, respectively, 17.57g (± 4.071) and 19.19g (± 4.811) ($P < 0.05$); 10.88cm (± 0.875) and 11.29cm (± 0.871) ($P < 0.05$); 1.346 (± 0.051) and 1.311 (± 0.061) ($P > 0.05$); 2.93kg/m³ and 3.20kg/m³). Until now *E. fetida* seems to be a feed for largemouth bass.

Keywords: feed compound, K condition factor, weight gain, feed conversion ratio.

Introdução

As minhocas desempenham um papel importante nos ecossistemas terrestres ao decomporem a matéria orgânica. Introduzem alterações químicas, físicas e microbiológicas que são benéficas para o solo (Johnson-Maynard *et al.*, 2007). A minhoca vermelha (*Eisenia fetida*) é uma espécie utilizada na vermicompostagem como ferramenta de trabalho, reciclando todo o tipo de matéria orgânica, vegetal e estrume. Quando adulta mede entre 2,3 e 13cm de comprimento, tem cerca de 1,5g de peso e 50 a 55 dias após a saída do *cocoon* está apta a reproduzir-se (Fadaee, 2012).

Desde os anos 40 que a produção de minhocas se tem desenvolvido em países como EUA e Inglaterra. As minhocas são utilizadas principalmente para a gestão de resíduos sólidos orgânicos, comercialização como isco para pesca, produção de alimentos para animais, fertilização, desintoxicação dos solos e vermicompostagem (Sinha *et al.*, 2002).

Vários autores têm vindo a avaliar a composição nutricional das minhocas como alimento para animais. Pode ser utilizada fresca ou transformada em farinha depois de desidratada. A farinha de minhoca é uma boa fonte de proteína e de gordura. Contém aminoácidos e ácidos gordos essenciais (Velásquez *et al.*, 1986; Vielma *et al.*, 2003a; Vielma *et al.*, 2003b) e é rica em vitaminas e sais minerais (Vielma *et al.*, 2007).

Para que a utilização industrial de minhocas na alimentação animal seja economicamente interessante, é indispensável melhorar eficiência do processo de separação das minhocas do húmus. Este processo requer, habitualmente, muito tempo e mão-de-obra. Os métodos mais utilizados na separação das minhocas são manuais, mecânicos e comportamentais. O método manual é muito dispendioso e limitado à recolha de pequenas amostras (Coja *et al.*, 2008). Os métodos mecânicos pressupõem a utilização de peneiras e/ou vibradores e os métodos comportamentais ou dinâmicos são aqueles que provocam a saída das minhocas do substrato devido à influência de estimulantes como a atração por alimento, calor, choques elétricos, inundação ou repelentes químicos (Bouma *et al.*, 2001). Alguns autores têm vindo a demonstrar ser tecnicamente viável e muito prática a utilização de impulsos elétricos controlados para a separação de minhocas do húmus (Chaoui e Keener, 2008; Moraes *et al.*, 2013).

Vários autores têm vindo a evidenciar as potencialidades de utilização das minhocas vivas ou secas na alimentação de espécies piscícolas produzidas em aquicultura. Destacam-se os trabalhos feitos com *Acipenser sturio*, *Anguilla anguilla*, *Clarias gariepinus* e *Mystus guttatus* (Knights, 1996, Hayashi *et al.*, 1999, Yang, 2001 e Brossel *et al.*, 2002 citados por Fadaee, 2012). Não se conhecem estudos sobre a utilização da *E. fetida* na alimentação de achigãs.

O achigã (*Micropterus salmoides*) é uma espécie piscícola que apresenta elevado interesse gastronómico em certas regiões de Portugal com o Ribatejo, a Beira Baixa e o Alentejo (Rodrigues e Sanches, 2012) com preços de venda ao público variando entre os 5 e 8 €/kg (Ribeiro *et al.*, 2007). Foi introduzido no continente português em meados do século XX (Almaça, 1996) embora já existisse nos Açores desde 1898 (Silva, 1992).

Nos EUA a produção em cativeiro de alevins para repovoamento data de 1930. A partir dessa altura começaram a ser realizados vários trabalhos sobre reprodução de achigãs. Na década de 80, várias pisciculturas americanas, particulares e estatais, aperfeiçoam técnicas de treino de alimentação para maximizar a produção de achigãs em cativeiro. Os peixes produzidos têm escoamento garantido junto das comunidades asiáticas apreciadoras de filete de achigã (Heidinger, 2000; Tidwell *et al.*, 2000; Quinn e Paukert, 2009). Estima-se que mais de 500.000kg de achigãs com 400 - 700g (peso de mercado) sejam produzidos anualmente nos EUA para venda como alimento (Tidwell *et al.*, 2002).

Em França também se produzem achigãs para repovoamento e para consumo humano (Arrignon, 1984) e em Portugal, entre 1958 e 2000, foram produzidos nos Postos Aquícolas de Mira e da Azambuja mais de 270.000 juvenis de achigã que foram utilizados para repovoar várias massas de água de Norte a Sul do país (Lourenço, 2004).

Justificação

Devido ao importante papel que as minhocas desempenham nos ecossistemas terrestres, à sua velocidade de crescimento e à possibilidade de virem a ser utilizadas na alimentação de achigãs produzidos em aquicultura, este trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros de crescimento de juvenis de achigãs (0+ anos) alimentados com *E. fetida* fresca e compará-los com achigãs da mesma idade alimentados com granulado comercial.

Material e Métodos

O ensaio decorreu em laboratório. No dia 23 setembro 2014 foram capturados 22 juvenis de achigãs (*Micropterus salmoides*) (0+ anos) numa pequena barragem de rega (N 39°49'27,89"; O 07°26'57,92"). Os achigãs foram colocados em três aquários onde se procedeu à habituação dos peixes ao alimento granulado comercial. Como não existe no mercado português alimento composto específico para a espécie *M. salmoides* utilizou-se um alimento granulado formulado para douradas (*Sparus aurata*) e robalos (*Dicentrarchus labrax*). O período de habituação durou 21 dias.

No fim do período de habituação, 16 achigãs foram escolhidos aleatoriamente e foram colocados em dois aquários sem iluminação artificial (8 peixes/aquário; 0,043m³/aquário), aquário G1 – achigãs alimentados com *E. foetida* fresca e aquário G2 – achigãs alimentados com granulado comercial. Em cada aquário foram colocadas duas pedras difusoras para arejamento e, a partir de 04-11-2014, foi colocada uma resistência de 50W com capacidade para aquecimento da água 5 a 6°C acima da temperatura ambiente. A água dos aquários foi parcialmente substituída duas vezes por semana obtendo-se uma renovação média diária de 0,010296m³ (renovação total da água em cada 4,18 dias).

Os peixes foram pesados e medidos nos dias 13-10-2014 (D0), 12-11-2014 (D30), 12-12-2014 (D60) e 09-01-2015 (D88). Os valores médios iniciais do peso, comprimento, fator K e densidade de peixe foram semelhantes nos dois aquários. Os alimentos foram distribuídos 5 dias por semana, duas vezes ao dia (10 e 16 horas) até à saciedade. Na mesma altura mediu-se a temperatura da água dos aquários. A quantidade ingerida pelos peixes de cada aquário foi determinada por diferença de pesos dos alimentos antes e depois da distribuição (*ad libitum* controlado).

Foi calculado o fator de condição corporal (K) por peixe utilizando a equação

$$K = 100 \times P(g) \times C(g)^{-3} \quad (1)$$

em que P é o peso em g e C o comprimento em cm (Weatherly e Gill, 1987 citados por Tidwell et al., 2003).

O índice de conversão alimentar (IC) (g matéria seca ingerida / g peso vivo ganho) foi calculado através da seguinte equação

$$IC(gMS \text{ ingerida} / g \text{ peso vivo ganho}) = \frac{PAI(gMS)}{PVG(g)} \quad (2)$$

em que PAI é a quantidade de alimento ingerido (gMS) e PVG é o peso vivo ganho (g) (Tidwell et al., 2003).

Após secagem em estufa, o granulado (2 determinações) e a *E. fetida* (4 determinações) foram moídos em moinho de laboratório com crivo $\leq 1\text{mm}$. As amostras foram processadas para determinação dos teores em humidade, proteína bruta (PB), gordura bruta (GB) e cinzas (AOAC, 2000) e fibra bruta (FB) (AOAC, 1990). Os valores analíticos obtidos constam da Tabela 1.

Os hidratos de carbono (HC) e a energia metabolizável (EM) dos alimentos foram estimados pelas equações descritas por Kelly (1996):

$$HC(\%MS) = 100 - PB(\%MS) - GB(\%MS) - \text{cinzas}(\%MS) \quad (3)$$

$$EM(kcal / 100g) = 3,5PB(g) + 8,5GB(g) + 3,5HC(g) \quad (4)$$

Tabela 1. Composição química dos dois alimentos utilizados, *Eisenia fetida* (N=3) e alimento granulado comercial (N=2) com tamanho da partícula 1,6-1,8mm e densidade >600g/litro (informação do fabricante) (\pm desvio padrão; MS – matéria seca).

	Humidade (%)	Cinzas (%MS)	PB (%MS)	GB (%MS)	FB (%MS)	HC (%MS)	EM (kcal/100g)
<i>Eisenia fetida</i>	82,80 $\pm 2,128$	10,70 $\pm 2,345$	51,65 $\pm 4,430$	2,75 $\pm 0,043$	5,83 $\pm 0,393$	34,91 $\pm 4,593$	326,29 $\pm 8,256$
<i>Granulado</i>	6,55 $\pm 0,650$	11,57 $\pm 0,106$	49,74 $\pm 0,345$	18,07 $\pm 0,058$	0,84 $\pm 0,012$	20,33 $\pm 0,546$	398,89 $\pm 1,777$

Os resultados foram analisados com recurso ao programa informático IBM SPSS Ver. 21. Foi determinada a média e o desvio padrão. Para a comparação de médias entre os grupos G1 e G2 utilizou-se o Student T-Test.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 apresenta-se a composição química da *E. fetida*. Uma vez que em Portugal não se produzem alimentos compostos específicos para achigãs, foi utilizado um alimento composto comercial formulado para douradas (*S. aurata*) e robalos (*D. labrax*) (Tabela 1) como termo de comparação. De acordo com informação do fabricante, o alimento composto utilizado tem na sua composição farinha de peixe, farinha hidrolisada de sangue e penas, outras fontes proteicas animais e óleo de peixe.

Como seria de esperar, o teor em humidade ($82,80\% \pm 2,128$) nas minhocas frescas é muito superior ao do alimento granulado ($6,55\% \pm 0,650$). No entanto, se convertermos os resultados analíticos para matéria seca (MS), verificamos que os teores em cinzas e em PB dos dois alimentos utilizados são idênticos, no granulado cinzas $11,57\%MS (\pm 0,106)$ e PB $49,74\%MS (\pm 0,345)$ e nas minhocas cinzas $10,70\%MS (\pm 2,345)$ e PB $51,65\%MS (\pm 4,430)$. Verificamos também que o teor em FB é mais elevado nas minhocas e que os teores em GB e em EM são muito mais elevados no granulado (Tabela 1). Vielma e Medina (2006) ao analisarem farinha de minhocas liofilizadas encontraram valores superiores para a PB (62,3%) e GB (7,9%) e valores inferiores para as cinzas (7,9%) e FB (2,0%). Já Shakorian (1991) citado por Fadaee (2012) refere no seu estudo teores em PB (59%) e em GB (9%) mais próximos dos obtidos no nosso trabalho. Todavia, o teor em cinzas (17%) foi muito superior. As cinzas corresponderão principalmente à terra presente no aparelho digestivo das minhocas, material que não é digerido pelos peixes.

Ao longo do ensaio, algumas minhocas foram pesadas e medidas individualmente ($N=60$) obtendo-se peso e comprimento médios de $0,19g (\pm 0,102)$ e de $4,48cm (\pm 1,346)$, respetivamente.

Durante os 88 dias em que decorreu o ensaio a temperatura média da água dos aquários nos períodos D0 – D30, D30 – D60 e D60 – D88 foi, respetivamente, de $19,79^{\circ}C$, $19,86^{\circ}C$ e $16,75^{\circ}C$. De acordo com Stickney (1979) e Smith (1989) citados por Tidwell *et al.* (2003), a temperatura da água é o fator ambiental mais importante em animais poiquilotérmicos. Pode afetar diretamente o crescimento dos peixes uma vez que controla a ingestão de alimentos, as necessidades em nutrientes e o trânsito digestivo. A temperatura da água também pode influenciar a quantidade de lípidos depositados assim como o seu perfil em ácidos gordos devido ao papel que os ácidos gordos insaturados desempenham na manutenção da fluidez das bio membranas a diferentes temperaturas ambientes (Tidwell *et al.*, 2007).

Os valores médios iniciais do peso, comprimento, fator K e densidade foram semelhantes nos dois aquários com 8 peixes cada um. Nos aquários G1 e G2 o peso, o comprimento, o fator K e a densidade inicial foram, respetivamente, $13,62g (\pm 3,171)$ e $13,40g (\pm 3,002)$ ($P>0,05$), $10,49cm (\pm 0,757)$ e $10,39cm (\pm 0,649)$ ($P>0,05$), $1,160 (\pm 0,043)$ e $1,179 (\pm 0,082)$ ($P>0,05$) e $2,27kg/m^3$ e $2,23kg/m^3$ (Tabela 2).

Uma das dificuldades iniciais da produção de peixes piscívoros como o achigã é o treino para aceitação do alimento composto sólido. Segundo Csargo (2011), o sucesso da fase de treino é normalmente de 60 a 75%. Neste trabalho, três semanas após o início do período de habituação ao alimento composto comercial, 86,4% dos achigãs já ingeriam perfeitamente o granulado o que está dentro dos valores referidos por outros autores que consideram que a percentagem de peixes que se adaptam ao alimento composto é

ótima quando atinge os 80 a 90% (Heidinger, 2000; Tidwell *et al.*, 2000; Tidwell *et al.*, 2002). Não detetámos nenhuma dificuldade na habituação dos achigãs à ingestão de minhocas vivas.

A taxa de sobrevivência durante todo o ensaio foi de 100%. Este valor muito elevado só pode ser explicado pelas condições laboratoriais em que o ensaio decorreu. Tidwell *et al.* (2003) encontrou taxas de sobrevivência variando entre 96,8%, 97,7% e 86,5% em achigãs mantidos a temperaturas constantes, respetivamente, de 20°C, 26°C e 32°C durante 97 dias.

Tabela 2. Valores médios de peso, comprimento, fator K e produtividade dos achigãs do G1 (alimentados com *E. fetida*) (N=8) e do G2 (alimentados com granulado comercial) (N=8) obtidos durante os 88 dias em que durou o estudo (\pm desvio padrão; na mesma coluna, médias por parâmetro com letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$)).

Parâmetro	Grupo	D0	D30	D60	D88
Peso (g)	G1	13,62 ^a	15,08 ^a	17,16 ^b	17,58 ^b
		$\pm 3,171$	$\pm 3,913$	$\pm 4,070$	$\pm 4,071$
	G2	13,40 ^a	16,33 ^a	18,21 ^a	19,19 ^a
		$\pm 3,002$	$\pm 4,613$	$\pm 4,407$	$\pm 4,811$
Comprimento (cm)	G1	10,49 ^a	10,71 ^a	10,85 ^b	10,95 ^b
		$\pm 0,757$	$\pm 0,714$	$\pm 0,760$	$\pm 0,798$
	G2	10,39 ^a	10,63 ^a	11,09 ^a	11,29 ^a
		$\pm 0,649$	$\pm 0,736$	$\pm 0,876$	$\pm 0,871$
Fator K	G1	1,160 ^a	1,204 ^b	1,319 ^a	1,316 ^a
		$\pm 0,043$	$\pm 0,144$	$\pm 0,058$	$\pm 0,044$
	G2	1,179 ^a	1,324 ^a	1,315 ^a	1,311 ^a
		$\pm 0,082$	$\pm 0,140$	$\pm 0,081$	$\pm 0,061$
Produtividade (kg/m ³)	G1	2,27	2,51	2,86	2,93
	G2	2,23	2,72	3,03	3,20

Aos 88 dias de ensaio, os valores médios do peso e do comprimento diferiram significativamente nos dois aquários. Nos aquários G1 e G2 o peso, o comprimento e o fator K foram, respetivamente, 17,58g ($\pm 4,071$) e 19,90g ($\pm 4,811$) ($P < 0,05$), 10,95cm ($\pm 0,798$) e 11,29cm ($\pm 0,871$) ($P < 0,05$) e 1,316 ($\pm 0,044$) e 1,311 ($\pm 0,061$) ($P > 0,05$) (Tabela 2) (Gráfico 1). Os achigãs alimentados com o granulado comercial tiveram melhor crescimento embora a condição corporal (fator K) tenha sido semelhante. Esta diferença de crescimentos poderá estar associada à menor concentração energética das minhocas (326,29Kcal/100gMS) quando comparadas com o alimento composto comercial (398,89 kcal/100gMS).

Como seria de esperar, o maior crescimento verificado nos achigãs do G2 traduziu-se numa maior produtividade ao fim dos 88 dias de ensaio. A produtividade do aquário G1 no dia D88 foi de 2,93kg/m³, valor inferior à produtividade do aquário G2 que, na mesma altura, foi de 3,20kg/m³. Os valores encontrados neste trabalho são semelhantes aos valores finais obtidos por Tidwell *et al.* (2003) para achigãs mantidos durante 97 dias em água com uma temperatura constante de 20°C (2,80kg/m³) mas inferiores à

produtividade de peixes mantidos durante o mesmo tempo a temperaturas constantes de 26°C (7,12kg/m³) ou 30°C (6,63kg/m³)

Na Figura 1 é possível verificar que os peixes dos grupos G1 e G2 aumentaram de peso do dia D0 até ao dia D88. No entanto, verifica-se que o crescimento abrandou na última fase. Esta evolução poderá estar relacionada com a diminuição da temperatura da água nos aquários que, no período D60-D88 foi em média de 16,75°C quando nos períodos D0-D30 e D30-D60 tinha sido, respetivamente, de 19,79°C e 19,86°C (Tabela 3). A temperatura também terá influenciado o consumo médio de alimentos que no período D60-D88 foi de 0,068gMS/dia no G1 e de 0,069gMS/dia no G2 quando no período D30-D60 tinha sido de 0,109gMS/dia no G1 e de 0,104g/dia no G2. Como se pode observar na Tabela 3, o período de maior ingestão média diária coincidiu com o período em que a temperatura da água foi mais elevada (19,86°C).

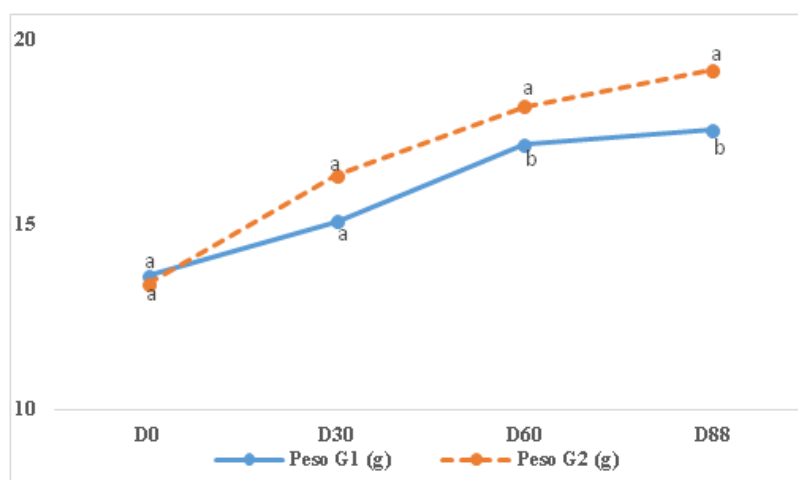


Figura 1. Representação gráfica da evolução do peso vivo dos achigãs durante 88 dias de ensaio (T-Test, letras diferentes nas médias indicam $P < 0,05$).

Para os dois grupos o melhor IC ocorreu no período D0-D30 e o pior IC ocorreu no período D60-D88 altura em que o G1 teve um IC manifestamente mais elevado (4,533gMS/g) quando comparado com o IC do G2 (1,971gMS/g) (Tabela 3). O IC médio durante os 88 dias de ensaio foi de 1,852gMS/g no G1 e de 1,323gMS/g no G2. Estes resultados são piores do que os obtidos por Tidwell *et al.* (2003) com achigãs alimentados durante 97 dias com granulado e mantidos a temperaturas constantes de 20°C, 26°C e 32°C em que os IC foram, respetivamente, de 1,2, 1,0 e 1,1gMS/g de peso ganho.

Tabela 3. Temperatura da água, ingestão de MS, índice de conversão, peso ganho relativo ao inicial e taxa de crescimento específico dos achigãs do **G1** (alimentados com *E. fetida*) (N=8) e **G2** (alimentados com granulado comercial) (N=8), valores obtidos durante os 88 dias em que durou o estudo.

Intervalo		D0–D30	D30–D60	D60–D88
Temperatura (°C)		19,79	19,86	16,75
Ingestão MS/peixe (gMS/dia)	G1	0,072	0,109	0,068
	G2	0,087	0,104	0,069
IC (gMS/g de peso ganho)	G1	1,479	1,572	4,533
	G2	0,891	1,660	1,971
Peso ganho (% sobre o peso inicial)	G1	10,72	25,99	29,07
	G2	21,87	35,90	43,21

Relativamente ao peso inicial, aos 88 dias de ensaio o peso médio dos achigãs do G1 correspondia apenas a 29,05% enquanto que o peso médio dos achigãs do G2 correspondia a 40,92% do peso inicial.

Conclusões

Embora a *E. fetida* apresente um baixo teor em gordura, tem um elevado teor em proteína o que a poderá tornar um alimento inovador e interessante para a alimentação de peixes piscívoros como o achigã. No entanto o elevado teor em humidade e em cinzas, principalmente terra, poderão ser um fator limitante à sua utilização como alimento para peixes.

A diminuição da temperatura da água parece ter influenciado negativamente os parâmetros de crescimento. O efeito da redução da temperatura parece ter-se feito sentir mais nos achigãs alimentados com minhocas. No entanto, os resultados obtidos até agora parecem indicar que a *Eisenia fetida* pode ser utilizada na alimentação de achigãs.

Trabalhos futuros serão necessários para avaliar o interesse que a *E. fetida* poderá ter como complemento da dieta comercial e em que medida a sua utilização na alimentação de achigãs poderá influenciar o valor nutricional dos filetes. Há que ter em conta que a produção de minhocas é muito barata o que pode ser vantajoso como alimento alternativo aos alimentos convencionais utilizados em aquicultura.

Bibliografia

- Almaça, C., 1996. Peixes dos rios de Portugal. Edições INAPA, Lisboa.
- AOAC (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15 th Ed., Washington DC, USA.
- AOAC (2000). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed., Gaithersburg, Maryland, USA.
- Arrignon, J., 1984. Ecologia y Psicicultura de Aguas Dulces (tercera edición). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Bouma, J., Curry, J.P., Houba, V.J.G., 2001. Measuring physical, chemical and biological soil parameters in grasslands. *In: Field and laboratory methods for grassland and animal production research*. Cabi Publishing, 1 Ed., p.279-303.
- Chaoui, H., Keener, H.M., 2008. Separating earthworms from organic media using an electric field. *Biosystems Engineering*, 100, 409-421.
- Coja, T., Zehetner, K. Bruckner, A., Watzinger, A., Meyer, E., 2008. Efficacy and side effects of five sampling methods for soil earthworms (Annelida, Lumbricidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71, 552-565.
- Csargo, I.J., 2011. Advanced largemouth bass production and stock contribution to small south Dakota - impoundment fisheries. Master of Science in Wildlife and Fisheries Sciences Thesis, South Dakota State University, USA.
- Fadaee, R., 2012. A review on earthworm *Eisenia fetida* and its applications. *Annals of Biological Research*, 3, 2500-2506.
- Heidinger, R.C., 2000. A White Paper on the Status and Needs of Largemouth Bass Culture in the North Central Region. Largemouth Bass White Paper, March, 1-10.
- Johnson-Maynard, J.L., Umiker, K.J., Guy, S.O., 2007. Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil & Tillage Research*, 94, 338-345.

- Kelly, N.C., 1996. Food types and evaluation. *In*: Manual of companion animal nutrition and feeding. Ed. Noel Kelly and Josephine Wills, British Small Animal Veterinary Association, Gloucestershire, UK, p.22-42.
- Lourenço, R.M.V., 2004. Repovoamentos piscícolas em Portugal Continental desde o século XIX. Relatório Trabalho de Fim de Curso em Engenharia Florestal, ISA – UTL, Lisboa.
- Moraes, M.J., Filho, D.O., Martins, J.H., Santos, L.C., 2013. Electric signals as a tool for separation of earthworms (*Eisenia fetida*) from humus. Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, V.21, N.6, 527-538.
- Quinn, S., Paukert, C., 2009. Centrarchid fisheries. *In*: Centrarchid fishes, diversity, biology and conservation, Edited by Steven J. Cooke and David P. Philipp. Blackwell Publishing, UK, p.312-338.
- Ribeiro, F., Beldade, R., Dix, M., Bochechas, J. 2007. Carta Piscícola Nacional. Direcção Geral dos Recursos Florestais - Fluviatilis, Lda. Publicação Electrónica.
- Rodrigues, A.M., Sanches, J.C., 2012. A produção comercial de achigãs (*Micropterus salmoides*). Agroforum, 28, 45-53.
- Silva, A.M.M., 1992. Introdução de peixes dulciaquícolas na Ilha de S. Miguel: subsídios para a sua história. Direcção Regional dos Recursos Florestais, p.77-83.
- Sinha, R.K., Herat, S., Agarwal, S., Asadi, R., Carretero, E., 2002. Vermiculture and waste management: study of action of earthworms *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* and *Perionyx excavatus* on biodegradation of some community wastes in India and Australia. The Environmentalist, 22, 261-268.
- Tidwell, J.H., Coyle, S., Bright, L.A., 2007. Effects of different types of dietary lipids on growth and fatty acid composition of Largemouth Bass. North American Journal of Aquaculture, 69, 257-264.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D. Woods, T.A., 2000. Species Profile: Largemouth Bass. Southern Regional Aquaculture Center, 722.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Bright, L.A., VanArnum, A., Yasharian, D., 2003. Effect of Water Temperature on Growth, Survival, and Biochemical Composition of Largemouth Bass *Micropterus salmoides*. Journal of the World Aquaculture Society, 34, 175-183.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Webster, C.D., 2002. Centrarchids: largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *In* Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture, Ed. C. D. Webster e C. Lim. CABI Publishing, USA, p. 374-380.
- Velázquez, L.B., Ibáñez, I., Herrera, C., 1986. Harina de lombriz. II Parte: composición de ácidos grasos, factores antinutricionales y tratamiento térmico para control de bacterias. Alimentos, 11 (4), 9-13.
- Vielma, R.A., Carrero, P., Rondón, C., Medina, A., 2007. Comparación del contenido de minerales y elementos trazas en la harina de lombriz de tierra (*Eisenia fetida*). Saber, 19 (1), 25-29.
- Vielma, R.A., Medina, A.L., 2006. Determinación de la composición química y estudios de solubilidad en la harina de lombriz *Eisenia fetida*. Revista de la Facultad de Farmacia (Universidad de Los Andes), Vol. 48 (1), 2-8.
- Vielma, R.A., Ovalles, J., León, A. y Medina A. 2003a. Valor nutritivo de la harina de lombriz (*Eisenia fetida*) como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversa (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA). Ars Pharmaceutica, Vol. 44 (1), 43-48.
- Vielma, R.A., Usubillaga, A y Medina, A. 2003b. Estudio preliminar de los niveles de ácidos grasos de la harina de lombriz (*Eisenia fetida*) mediante cromatografía de gases acoplada a masas. Revista de la Facultad de Farmacia (Universidad de Los Andes), Vol. 45 (2), 39-44.

PA04 - Avaliação do crescimento de achigãs produzidos em aquacultura – primeiros resultados.

Rodrigues, A.M.¹, Mello, A.V.², Mello, M.²

¹ Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Castelo Branco, CERNAS-IPCB, Qta Sra Mércules, 6001-909 Castelo Branco, Portugal, amrodrig@ipcb.pt. ² Sociedade Agrícola Vale de Inguinhos S.A., Herdade das Almotolias, 2140-519 Parreira, Portugal, avascomenezes1@mail.telepac.pt.

Resumo

O achigã (*Micropterus salmoides* Lacépède, 1802) é uma espécie piscícola introduzida em Portugal (Açores) no final do século XIX. É um peixe muito popular na cozinha regional do Ribatejo, Beira Baixa e Alentejo. A Sociedade Agrícola Vale de Inguinhos S.A. (SAVI) é a primeira empresa portuguesa com aquicultura licenciada para a produção de 61,5 toneladas de achigãs/ano. Como não há no mercado nacional alimento composto comercial específico para achigãs, a SAVI iniciou a sua atividade avaliando o crescimento de achigãs selvagens utilizando um alimento formulado para douradas e robalos (proteína 47,7%; gordura 17,3%). Para este estudo foram capturados, em setembro de 2014, 358 juvenis de achigãs (0+ anos) nas 5 barragens pertencentes à SAVI. Os peixes foram colocados num tanque circular para habituação ao alimento e avaliação de diferentes parâmetros de crescimento. No dia da captura foram amostrados 57 peixes obtendo-se os seguintes valores: peso 19,49g ($\pm 1,882$); comprimento 11,85cm ($\pm 0,275$); fator K 1,170 ($\pm 0,081$). Durante o 35 dias de habituação ao alimento a taxa de sobrevivência foi de 90,2%. Os achigãs voltaram a ser controlados nos dias 0 (n=67) e 67 (n=80) após o período de habituação. Os resultados foram os seguintes: peso 15,31g ($\pm 2,681$) dia 0 e 20,46g ($\pm 5,363$) dia 67 ($P < 0,05$); comprimento 11,48cm ($\pm 0,708$) dia 0 e 12,59cm ($\pm 0,770$) dia 67 ($P < 0,05$); fator K 1,007 ($\pm 0,112$) dia 0 e 1,010 ($\pm 0,164$) dia 67 ($P > 0,05$). A temperatura da água variou entre 24,6°C e 10,0°C. Os primeiros resultados indicam que durante o período de habituação ao alimento composto houve uma redução do peso e do fator K dos peixes. No entanto, entre os 0 e os 67 dias após o início do estudo o peso e o comprimento dos peixes aumentou significativamente. Parece poder-se concluir que o alimento composto comercial utilizado é adequado à alimentação de juvenis da espécie *Micropterus salmoides*.

Palavras chave: *Micropterus salmoides*, alimento composto, SAVI.

Growth evaluation of largemouth bass raised in aquaculture - first results.

Largemouth bass (*Micropterus salmoides* Lacépède, 1802) (LB) is a freshwater fish introduced in Portugal (Azores) in the end of XIX Century. It is a very important fish in regional cuisine especially in Ribatejo, Beira Baixa and Alentejo regions. The Sociedade Agrícola Vale de Inguinhos S.A. (SAVI) is the first LB aquaculture industry with permission for production 61.5 tones LB/year. Because in Portugal there are no specific LB commercial feed compound SAVI is now evaluate the growth capacity of wild LB using a commercial feed formulated for seabream and European seabass (protein 47.7%, fat 17.3%). On September 2014 358 juvenile LB (0+ years) were caught from 5 small dams belonging to SAVI. Juvenile were stocked in a circular tank used for compound feed training and evaluate fish growth and 57 fish were sampled. The average values were: weight 19.49g (± 1.882); length 11.85cm (± 0.275); K condition factor 1.170 (± 0.081). During the compound feed training period (35 days) the survival rate was 90.2%. A sample of >60 LB was collected every ~30 days. At days 0 (n=67) and day 67 (n=80) after the end feed training period, a LB sample were controlled with the following results: weight 15.31g (± 2.681) day 0 and 20.46g (± 5.363) day 67 ($P < 0.05$); length 11.48cm (± 0.708) day 0 and 12.59 cm (± 0.770) day 67 ($P < 0.05$); K condition factor 1.007 (± 0.112) day 0 and 1.010 (± 0.164) days 67 ($P > 0.05$). Water temperature ranged 24.6°C and 10.0°C. The first results indicate there was a decrease in weight and K condition factor during feed training period. However, the mortality rate was acceptable. Between 35 to 67 days, largemouth bass weight and length increased significantly. First results indicate that that commercial compound used at SAVI appears to be appropriate to feed juveniles *Micropterus salmoides*.

Keywords: *Micropterus salmoides*, feed compound, SAVI.

Introdução

O achigã (*Micropterus salmoides*, Lacépède, 1802) é um peixe com elevado interesse gastronómico e desportivo muito bem adaptado aos sistemas lênticos da Península Ibérica. Foi introduzido em Portugal em 1898 na Lagoa das Sete Cidades, Ilha de São Miguel - Açores, através de exemplares vindos dos Estados Unidos da América (EUA) (Silva, 1992). Mais tarde (meados do século XX) foi introduzido no continente para limitar a população de *Gambusia holbrokii*, espécie que havia sido introduzida em 1921 para ajudar a combater a malária na bacia mediterrânica (Almaça, 1996).

Nos EUA, a produção em cativeiro de alevins para repovoamento data de 1930, altura em que foram realizados vários trabalhos sobre reprodução de achigãs. Com o objetivo de aumentar a produção de achigãs para repovoamento, Jack Snow realiza em 1960 um estudo utilizando achigãs de 15 a 20cm de comprimento (Tidwell, 2000). Na década de 80, várias pisciculturas americanas, particulares e estatais, aperfeiçoam técnicas de treino de alimentação para maximizar a produção de achigãs em cativeiro. A procura de achigãs de grandes dimensões como troféus de pesca tem aumentado nos EUA e tem desencadeado o interesse dos piscicultores para a produção destes peixes com vista ao repovoamento de locais utilizados para pesca desportiva. Os peixes produzidos também têm escoamento garantido junto das comunidades asiáticas apreciadoras de filete de achigã (Heidinger, 2000; Tidwell *et al.*, 2000; Quinn e Paukert, 2009). Estima-se que mais de 500.000kg de achigãs com 400 - 700g (peso de mercado) sejam produzidos anualmente nos EUA para venda como alimento (Tidwell *et al.*, 2002).

Em França também se produzem achigãs para repovoamento e para consumo humano (Arrignon, 1984) e em Portugal, entre 1958 e 2000, foram produzidos em cativeiro mais de 270.000 juvenis de achigã, utilizados para repovoamento de várias massas de água de Norte a Sul (Lourenço, 2004). De acordo com Maia (2008) citado por Gomes (2009), os postos aquícolas nacionais atualmente em funcionamento trabalham apenas com duas espécies piscícolas, a truta comum (*Salmo trutta fario*) e a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). O posto aquícola de Mira que se destinava à produção de achigãs e carpas (*Cyprinus carpio*) e o posto aquícola da Azambuja que produzia achigãs, carpas e tencas (*Tinca tinca*) presentemente estão desativados.

Em Portugal, o achigã apresenta elevado interesse gastronómico com preços de venda ao público variando entre os 5 e 8 €/kg (Ribeiro *et al.*, 2007). Em alguns locais esta espécie é motivo de reuniões gastronómicas sendo o achigã um dos *ex-libris* da gastronomia do Ribatejo, da Beira Baixa e do Alentejo. Destaca-se o conhecido Festival Gastronómico do Achigã de Vila de Rei cuja oitava edição ocorreu em 2014.

Justificação

A Sociedade Agrícola Vale de Inguinhos S.A. (SAVI), através da Aquicultura das Almotolias, é a primeira empresa portuguesa licenciada para a produção de 61,5 toneladas de achigãs/ano (Despacho 11246/2010 de 9 de julho). Para atingir aquela produção anual a SAVI pretende aumentar o ritmo de crescimento dos achigãs, intensificando a sua produção através da utilização de alimentos compostos. Como não existe no mercado português alimento composto específico para a espécie *M. salmoides*, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento de achigãs selvagens

utilizando um alimento composto comercial formulado para douradas (*Sparus aurata*) e robalos (*Dicentrarchus labrax*).

Material e Métodos

A SAVI é uma sociedade agrícola localizada no conselho da Chamusca. As 5 barragens de que a SAVI é proprietária são locais de reprodução produzindo alevins e juvenis de achigã que, anualmente, vão alimentar a Aquicultura das Almotolias. Embora o licenciamento para a produção de achigãs seja de 2010 (Despacho 11246/2010 de 9 de julho), vicissitudes várias impediram que a atividade produtiva tivesse início mais cedo.

Para dar início à atividade da Aquicultura das Almotolias, no final de setembro de 2014 foram capturados 358 juvenis de achigãs (0+ anos) nas cinco pequenas barragens pertencentes à SAVI (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição por barragem das capturas efetuadas no início do ensaio (total 358 juvenis de achigãs).

Barragem	Várzea dos Patos	Calafetes	Várzea da Lenha	Pernancha	Inguinhos
N.º capturas	50	252	0	25	31
Data	20-09-2014	20-09-2014	20-09-2014	20-09-2014	21-09-2014

As capturas foram feitas com rede de alar (1cm² de malha) para a margem (arte xávega). Com auxílio de um bote de borracha e com o objetivo de aumentar o número de capturas foi efetuada a alagem da rede em dois locais diferentes por barragem. Com exceção da barragem dos Calafetes, em todas as outras foram capturados muito poucos achigãs. De realçar que na barragem Várzea da Lenha não foram pescados achigãs, o que evidencia a pouca capacidade reprodutiva da maior parte das barragens da SAVI, provavelmente como consequência da pesca furtiva.

Os 358 achigãs capturados foram colocados num tanque circular de fibra de vidro no qual se procedeu à habituação dos animais ao alimento composto comercial. Não havendo no mercado português alimento específico para achigãs, a fase de habituação ao alimento sólido foi feita com um alimento composto comercial formulado para douradas e robalos cuja composição nutricional consta da Tabela 2.

Tabela 2. Tamanho da partícula, densidade e composição nutricional do alimento composto comercial utilizado durante na fase de habituação dos achigãs (informação do fabricante).

Tamanho partícula (mm)	Densidade (g/litro)	PB (%)	GB (%)	Cinzas (%)	FB (%)	Ca (%)	P (%)
1,6-1,8	>600	52,0	18,0	11,0	1,0	2,4	1,0

Nos dias das capturas (diaC) foram pesados e medidos 57 achigãs. O período de habituação ao alimento sólido durou 35 dias. No fim da fase de habituação (dia0), uma amostra dos achigãs do tanque (n=67) foi controlada. Os achigãs voltaram a ser pesados e medidos aos 35 dias (dia35) (n=60) e aos 67 dias (dia67) (n=80) após o período de habituação ao alimento sólido. Foi registada a mortalidade, a temperatura da água e foi calculado o fator de condição corporal (K) para cada peixe utilizando a

equação $K = 100 \times P \times C^{-3}$ em que P corresponde ao peso em gramas e C ao comprimento em centímetros (Weatherly e Gill, 1987 citados por Tidwell et al., 2003).

Os resultados foram analisados com recurso ao programa informático IBM SPSS Ver. 21. Para cada amostragem calculou-se a média e o desvio padrão ($\pm dp$). Para comparação de médias entre amostragens utilizou-se a ANOVA e como teste de comparações múltiplas utilizou-se o teste de Tukey.

Resultados e Discussão

Sendo um peixe de águas quentes, o achigã não tem grandes necessidades em ácidos gordos polinsaturados. No entanto, a farinha de peixe utilizada no fabrico dos alimentos compostos deverá fornecer quantidade suficiente daqueles ácidos gordos e os lípidos utilizados deverão ser principalmente óleo de peixe ou misturas de óleo de peixe com gorduras vegetais (Tidwell et al., 2007). De acordo com informação do fabricante, o alimento composto utilizado tem na sua composição farinha de peixe, farinha hidrolisada de sangue e penas, outras fontes proteicas animais e óleo de peixe. Os teores em proteína (52%) e em gordura (18%) parecem ser adequados à espécie. Estão de acordo como que é referido por vários autores como ideal para um granulado para achigãs (Anderson et al., 1981 e Tidwell et al., 1996 citados por Tidwell et al., 2002).

No período após o fim do período de habituação ao alimento composto, a temperatura da água no tanque variou entre 24,6°C e 10,0°C, evolução que está de acordo com a época do ano em que decorreu o estudo e que poderá ter condicionado o desenvolvimento dos peixes. De acordo com Stickney (1979) e Smith (1989) citados por Tidwell et al. (2003), a temperatura da água é o fator ambiental mais importante em animais poiquilotérmicos podendo afetar diretamente o crescimento dos peixes uma vez que controla a ingestão de alimentos, as necessidades em nutrientes e o trânsito digestivo. A temperatura da água também pode influenciar a quantidade de lípidos depositados assim como o seu perfil em ácidos gordos devido ao papel que os ácidos gordos insaturados desempenham na manutenção da fluidez das bio membranas a diferentes temperaturas ambientes (Tidwell et al., 2007).

Analisando a Tabela 3 verifica-se que entre o diaC e o dia0 o peso médio da amostra diminuiu de 19,49g ($\pm 1,882$) para 15,31g ($\pm 2,681$) ($P < 0,05$), o comprimento médio diminuiu de 11,85cm ($\pm 0,275$) para 11,48cm ($\pm 0,708$) ($P < 0,05$) e o fator K diminuiu de forma muito acentuada passando de 1,170 ($\pm 0,081$) para 1,007 ($\pm 0,112$) ($P < 0,05$). A redução nos parâmetros produtivos coincidiu com a fase de habituação ao alimento composto comercial que durou 35 dias. Neste período a taxa de sobrevivência foi de 90,2%.

Uma das dificuldades iniciais da produção de peixes piscívoros como o achigã é o treino para aceitação do alimento composto sólido. Segundo Csargo (2011), o sucesso desta fase de treino é normalmente de 60 a 75% em pisciculturas comerciais. No entanto, se conseguirmos aumentar aqueles números estamos a reduzir substancialmente os custos associados à produção comercial de achigãs. Heidinger (2000), Tidwell et al. (2000) e Tidwell et al. (2002) consideram que a percentagem de peixes que se adaptam ao alimento composto é ótima quando atinge os 80 a 90% embora e que o aumento da taxa de mortalidade está diretamente relacionado com o aumento do insucesso na habituação ao alimento sólido.

Neste trabalho utilizamos achigãs selvagens. Esta particularidade também poderá ter contribuído para a taxa de mortalidade que se verificou. Heidinger (2000) refere que os juvenis da 2.^a e 3.^a geração de achigãs produzidos em tanques e alimentados com alimento composto se adaptam mais facilmente e em maior número ao alimento.

Tabela 3. *Evolução do peso, do comprimento e do fator K dos achigãs, de 20-09-2014 (dia da captura) até 31-12-2014 (67 dias após o fim do período de habituação; 102 dias após a captura) (N – número de peixes amostrados; dp – desvio padrão. Médias na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05)).*

Data/dia	N	Temperatura	Peso (g)		Comprimento (cm)		Fator K	
		(°C)	Média	dp	Média	dp	Média	dp
20-09-2014/C	57	-	19,49a	±1,882	11,85b	±0,275	1,170a	±0,081
25-10-2014/0	67	24,6	15,31b	±2,681	11,48c	±0,708	1,007b	±0,112
29-11-2014/35	60	20,0	16,78b	±5,126	12,13b	±0,778	0,923c	±0,189
31-12-2014/67	80	10,0	20,46a	±5,363	12,59a	±0,770	1,010b	±0,164
Total	264		18,11	±4,646	12,04	±0,798	1,024	±0,166

Os juvenis encontram-se na fase de transição alimentar por volta das 4 – 5 semanas de idade, quando têm cerca de 5 a 6 cm de comprimento. Esta é altura ideal para a adaptação ao alimento sólido (Tidwell *et al.*, 2002; Csargo, 2011). No entanto, os achigãs da Aquicultura das Almotolias foram capturados no mês de setembro, 5 a 6 meses após a altura de nascimento. O comprimento médio de 11,85cm é muito superior ao valor referido como ideal para esta fase de habituação. Tal poderá ter dificultado o processo de habituação e contribuído para a taxa de mortalidade registada.

Na Figura 1 é possível verificar que a partir do dia0 o aumento de peso e de comprimento foi continuado até ao dia67. Entre os dias dia0 e dia35 o aumento de peso foi de 1,47g/peixe e o aumento do comprimento foi de 0,64cm/peixe e entre os dias dia35 e dia64 o aumento de peso foi de 5,15g/peixe e o aumento do comprimento foi de 1,11cm/peixe. Como seria de esperar, o peso e o comprimento médios foram mais elevados (P<0,05) no dia67, respetivamente, 20,46g (±5,363) e 12,59cm (±0,770), quando comparados com os valores do dia35 (15,31g ±2,681 e 11,48cm ±0,708). O peso médio de captura foi ultrapassado ao dia67 não ocorrendo diferenças estatisticamente significativas entre os pesos médios do diaC e do dia67. O comprimento médio de captura foi ultrapassado ao dia35 não ocorrendo diferenças (P>0,05) entre os comprimentos médios do diaC e do dia35 (Tabela 3).

Tidwell *et al.* (2002), ao avaliarem o efeito da temperatura da água no crescimento dos achigãs após o período de habituação ao alimento composto comercial, encontraram valores semelhantes para achigãs alimentados em tanques com água à temperatura de 20°C.

Evolução diferente teve o fator K. Este parâmetro diminuiu do dia0 (1,007 ±0,112) para o dia35 (0,923 ±0,189), aumentando depois para o dia67 (1,010 ±0,164) nunca tendo atingido o fator K médio do dia das capturas. A baixa condição corporal dos peixes no dia67, muito diferente dos valores obtidos por outros autores (Heidinger, 2000; Tidwell *et al.*, 2002; Csargo, 2011), poderá estar relacionada com a evolução da temperatura da água do tanque onde decorreu o ensaio de adaptação ao alimento composto.

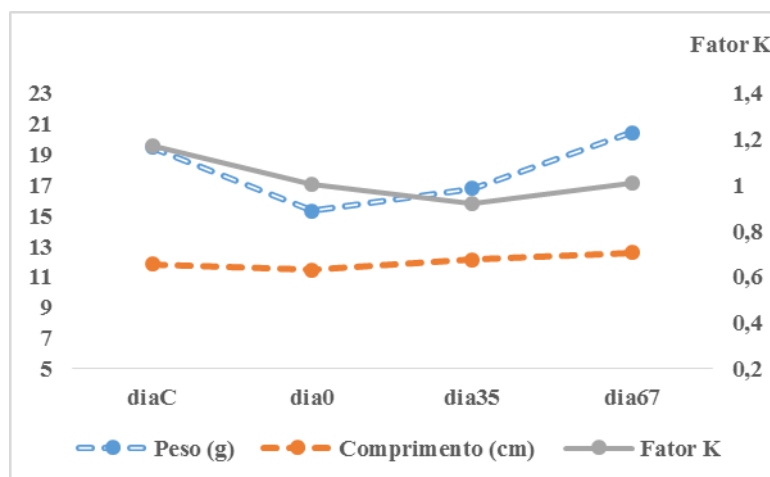


Figura 1. Representação gráfica da evolução do peso, do comprimento e do fator K dos peixes nos primeiros 102 dias após a captura.

A taxa de mortalidade entre o dia 0 e o dia 67 foi de 4,2%. Este valor está de acordo com o referido por outros autores para a mortalidade pós-período de adaptação ao alimento composto comercial (Heidinger, 2000; Tidwell *et al.*, 2002; Csargo, 2011).

Conclusões

Os resultados obtidos indicam que durante o período de habituação ao alimento composto houve uma redução acentuada do peso e do fator K dos peixes amostrados. A taxa de mortalidade verificada pode ser considerada normal para esta fase.

No período pós habituação ao alimento sólido (entre dia0 e dia67) o peso e o comprimento dos peixes aumentou significativamente pelo que se pode concluir que o alimento composto comercial utilizado é adequado à alimentação de juvenis da espécie *Micropterus salmoides*.

Bibliografia

- Almaça, C., 1996. Peixes dos rios de Portugal. Edições INAPA, Lisboa.
- Arrignon, J., 1984. Ecologia y Psicicultura de Aguas Dulces (tercera edición). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Csargo, I.J., 2011. Advanced largemouth bass production and stock contribution to small south Dakota - impoundment fisheries. Master of Science in Wildlife and Fisheries Sciences Thesis, South Dakota State University, USA.
- Gomes, J.M.P., 2009. Efeito da inclusão de alimento vivo no desenvolvimento do estímulo predatório e na performance de crescimento de juvenis de truta comum (*Salmo trutta*). Dissertação de Mestrado em Ciências do Mar – Recursos Marinhos, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto.
- Heidinger, R.C., 2000. A White Paper on the Status and Needs of Largemouth Bass Culture in the North Central Region. Largemouth Bass White Paper, March, 1-10.
- Lourenço, R.M.V., 2004. Repovoamentos piscícolas em Portugal Continental desde o século XIX. Relatório Trabalho de Fim de Curso em Engenharia Florestal, ISA – UTL, Lisboa.
- Quinn, S., Paukert, C., 2009. Centrarchid fisheries. *In: Centrarchid fishes, diversity, biology and conservation*, Edited by Steven J. Cooke and David P. Philipp. Blackwell Publishing, United Kingdom, pp. 312-338.
- Ribeiro, F., Beldade, R., Dix, M., Bochechas, J. 2007. Carta Piscícola Nacional. Direcção Geral dos Recursos Florestais - Fluviatilis, Lda. Publicação Electrónica.

- Rodrigues, A.M., Sanches, J.C., 2012. A produção comercial de achigãs (*Micropterus salmoides*). *Agroforum*, 28, 45-53.
- Silva, A.M.M., 1992. Introdução de peixes dulciaquícolas na Ilha de S. Miguel: subsídios para a sua história. *Direcção Regional dos Recursos Florestais*, 77-83.
- Tidwell, J.H., Coyle, S., Bright, L.A., 2007. Effects of Different Types of Dietary Lipids on Growth and Fatty Acid Composition of Largemouth Bass. *North American Journal of Aquaculture* 69, 257-264.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D. Woods, T.A., 2000. Species Profile: Largemouth Bass. *Southern Regional Aquaculture Center*, 722.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Bright, L.A., VanArnum, A., Yasharian, D., 2003. Effect of Water Temperature on Growth, Survival, and Biochemical Composition of Largemouth Bass *Micropterus salmoides*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34, 175-183.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Webster, C.D., 2002. Centrarchids: largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *In* *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, Ed. C. D. Webster e C. Lim. CABI Publishing, USA, pp. 374-380.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Woods, T.A., 2000. Species Profile: Largemouth Bass. *Southern Regional Aquaculture Center*, 722.

PA05 - Separación in situ de heces y orina en porcino de cebo: efecto de la estacionalidad

Alonso, F.¹; Rodríguez, J.¹; Sánchez, E.¹; Massana, J.¹; Ovejero, I.¹; Garcimartín, M.A.¹; Vázquez, J.¹;

¹ Grupo de Investigación Instalaciones Agro-ganaderas y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. e-mail: paco.alonso.peralta@upm.es

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la estacionalidad sobre la cantidad de residuos generados por un sistema de separación in situ con cinta plana, en un alojamiento de cebo con enrejillado parcial. Este sistema se ha ensayado en época estival con una temperatura exterior media de 21°C, y en época invernal-primaveral con una temperatura media de 11°C. Ambos experimentos se realizaron en la misma sala del alojamiento con la cinta plana inclinada transversalmente 6° que se vació dos veces al día a lo largo del periodo de cebo. En ambos casos el tipo de ventilación fue el mismo. La cantidad de residuos generados en el cebo en época estival fue el 77,46 % respecto a la correspondiente en época invernal-primaveral, en ambos casos fue menor que la producida en las explotaciones comerciales. La disminución de residuos se debe a la menor producción de fracción líquida en época estival porque el sistema de ventilación es más eficiente para la evaporación de agua de las deyecciones. El sistema de separación mediante cinta plana es eficiente en ambas épocas del año.

Palabras clave: purín, estiércol, temperatura, evaporación de agua

Separation in situ of feces and urine in fattening pig housing: effect of season

Abstract

The aim of this paper was to analyze the influence of the season on the amount of waste generated in a housing livestock fattening pigs in which there a separation system "in situ" of feces and urine by flat belt. This system has been tested in summer with an average outdoor temperature of 21 °C, and during winter-spring with an average temperature of 11°C. Both experiments were performed in the same room of livestock accommodation with flat belt tilted transversely 6°. This belt was emptied twice daily throughout the fattening period. Also, in both cases the ventilation type was the same. The amount of waste generated in summer was 77,46% over the corresponding to the winter season, in both cases was lower that the amounts that produce commercial farms. The reduction of waste is due to the lower production of liquid fraction in summer due at that the ventilation system is more efficient in the evaporation of manure water that conventional system. The separation system using flat belt is efficient in both seasons.

Keywords: slurry, manure, temperature, water evaporation

Introducción

Como en otros países desarrollados la producción intensiva de porcino en España tiene un problema a la hora de la gestión de los residuos para limitar el impacto medioambiental. Pese a su valor agronómico, si se excede en su aplicación pueden ser una fuente de contaminación de suelos y aguas subterráneas ocasionando problemas medioambientales. Desde el año 2007 en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid se ha ensayado un sistema de separación in situ de deyecciones mediante una cinta situada bajo el enrejillado del alojamiento (Vázquez *et al.*, 2001). Este sistema de separación genera dos fracciones: una líquida compuesta mayoritariamente por orina y

una pequeña cantidad de heces, y otra sólida con la mayoría de las heces con parte de la orina retenida. Este sistema es similar al propuesto por otros autores (Koger *et al.*, 2003; Baird *et al.*, 2004; Aarnink y Ogink, 2007).

Hasta el año 2010 todos los ensayos se han realizado en época estival con temperaturas exteriores altas, teniendo el sistema un buen funcionamiento ya que reduce notablemente la cantidad de residuos generados (Alonso, 2010; Alonso *et al.*, 2011), y mejora el bienestar animal al no haber deyecciones en una fosa bajo el enrejillado. En esta comunicación, se analiza el efecto de la estacionalidad (invernal-primaveral vs estival) sobre la cantidad de residuos generados por un sistema de separación in situ con cinta plana del LBP. En el trabajo se compara el balance de masas del sistema en ambas épocas del año.

Material y Métodos

Los dos experimentos que se comparan se han realizado en el (LBP) que es una nave experimental de cebo de ganado porcino a escala real. Este alojamiento consta de dos pisos: el piso superior cuenta con cuatro salas independientes donde se alojan los animales, y el piso inferior en el que se ha instalado el sistema de recogida de deyecciones (cinta plana conforme indica la figura 1) y los extractores del sistema de ventilación (Ovejero *et al.*, 2004). Cada una de las cuatro salas consta de seis corrales con una capacidad para siete ó diez animales (en función del peso al sacrificio) y con suelo parcialmente enrejillado (40% de la superficie del corral).

Los dos experimentos se han realizado en la Sala 1 del LBP que tiene el suelo de hormigón sin revestir y con enrejillado de hormigón prefabricado con el 30% de huecos. En ambos casos el sistema de ventilación fue por extracción bajo suelo.

El primer ensayo se llevó a cabo en periodo invernal-primaveral de febrero a abril (Cebo 1) con temperatura media exterior de 11°C, y el segundo ensayo en periodo estival de mayo a julio (Cebo 2) con temperatura media exterior de 21°C.

En los dos ensayos se cebaron 7 cerdos Pi x (LWxLR) en cada corral ($1,05 \text{ m}^2 \cdot \text{animal}^{-1}$ para garantizar el bienestar animal) durante 12 semanas (84 días). El peso vivo (PV) medio al inicio del Cebo 1 fue de $29,25 \pm 3,51 \text{ kg}$ y el PV medio final fue de $107,03 \pm 10,91 \text{ kg}$. En el Cebo 2 el PV medio inicial fue de $28,23 \pm 3,24 \text{ kg}$ y el PV medio final fue de $109,54 \pm 9,26 \text{ kg}$. En ambos ensayos el pienso se suministro ad libitum controlando el consumo de cada corral.

Bajo el enrejillado de la Sala 1 estuvo situada una cinta plana, inclinada transversalmente 6°. Al caer sobre ésta las deyecciones y la orina, las primeras quedan retenidas, mientras que la orina escurre transversalmente por la cinta, recogándose en un canalón inclinado longitudinalmente situado en uno de los laterales de la cinta y que vierte a un contenedor (Figura 1). Para este ensayo, la descarga de deyecciones, al poner en marcha la cinta, se ha realizado con una frecuencia de dos veces al día (10:00 y 19:00 horas). La elección del ángulo de inclinación y de la frecuencia de extracción se realizó conforme a estudios previos de los autores (Alonso *et al.*, 2010). Diariamente, cinco días por semana, se controló el volumen de la fracción líquida separada por la cinta (orina, principalmente), y semanalmente, la cantidad de estiércol (fracción sólida).

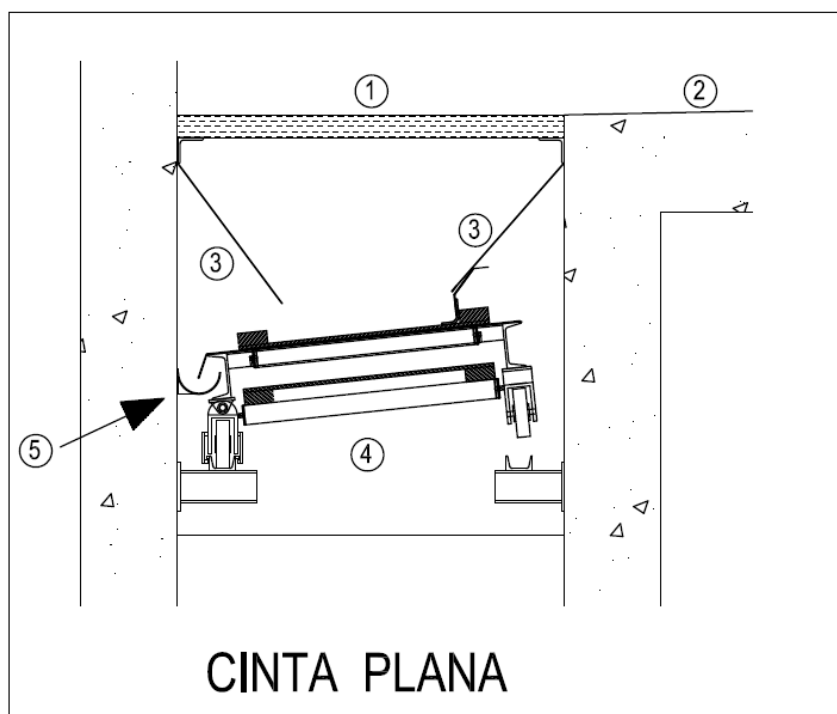


Figura 1. Esquema de la disposición del sistema de recogida de deyecciones con cinta plana de LBP

(1: suelo enrejillado; 2: suelo continuo; 3: deflectores; 4: cinta; 5: canalón orina).

En los dos experimentos todas las semanas se tomaron tres muestras independientes tanto de la fracción sólida como de la líquida. En todas las muestras se determinaron el contenido en materia seca (MS), el nitrógeno total por el método Kjeldahl (Hesse, 1971), el nitrógeno amoniacal (Bremner *et al.*, 1965) y el fósforo total siguiendo los métodos oficiales de análisis propuestos por el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (1994). Asimismo, se determinaron el peso específico de la fracción líquida separada, y se controló diariamente la temperatura máxima y mínima en el exterior y en el interior de la sala.

Los datos correspondientes a la producción diaria por cada 1.000 kg de peso vivo de fracción sólida, fracción líquida, total de residuos, materia seca de fracción sólida, materia seca de fracción líquida y materia seca del total de residuos, se sometieron a análisis de varianza según el modelo que incluía la estacionalidad como factor fijo, utilizando el procedimiento ANOVA del programa Statgraphics Centurion.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se adjuntan los resultados de la caracterización de las fracciones sólida y líquida separadas por la cinta de los dos Cebos. En el Cebo 1 (invernal-primaveral) tanto para la fracción sólida como para la fracción líquida el contenido en nitrógeno total (N_{total}) fue superior al obtenido en el Cebo 2 (estival). Estos resultados van en el mismo sentido para el contenido en nitrógeno amoniacal ($N_{amoniacal}$). Esto puede ser debido al efecto de la ventilación, ya que en la época estival con temperaturas exteriores más altas el sistema de ventilación aporta mayores caudales de aire y por tanto se evapora más agua de las deyecciones (Alonso *et al.*, 2011) para poder conseguir la temperatura deseada en el alojamiento. Con el sistema de extracción bajo el suelo, el aire circulante

pasó por encima de las deyecciones, evaporando agua y arrastrando compuestos nitrogenados volátiles contenidos en la orina de las deyecciones.

Tal y como se constató en anteriores experimentos en el LBP, el contenido en N_{total} y en $N_{amoniacal}$ fue siempre superior a los encontrados por otros autores con sistemas de separación in situ con cinta (Baird *et al.*, 2004; Aarnink y Ogink, 2007). En trabajos anteriores se indicó que los resultados pueden explicarse por factores tales como la alimentación de los animales, la eficiencia de separación heces-orina, la frecuencia de vaciado de la cinta, y al intervalo entre producción de las deyecciones y recogida de las muestras (Alonso *et al.*, 2011).

Tabla 1. Caracterización de las fracciones sólida y líquida separadas por la cinta.

Variable	Cebo 1		Cebo 2	
	Invernal Primavera		Estival	
	N	Fracción sólida	N	Fracción sólida
N_{total} (%)	24	2,298	24	1,111
$N_{amoniacal}$ (%)	24	0,420	24	0,209
P_2O_5 (%)	24	0,367	24	0,588
	Fracción líquida		Fracción líquida	
N_{total} (%)	24	1,567	24	0,714
$N_{amoniacal}$ (%)	24	1,003	24	0,517
P_2O_5 (%)	24	0,026	24	0,015
N: número de muestras				

En la mencionada Tabla 1 se observa como el contenido en fósforo de la fracción líquida del Cebo 1 fue superior al encontrado en el Cebo 2, pero en ambos casos fue inferior al encontrado por Baird *et al.* (2004). Sin embargo fue similar a los obtenidos por Aarnink y Ogink (2007) en sus ensayos. Estos resultados pueden indicar que la eficiencia de separación heces-orina fue mejor con el sistema empleado en el LBP que con los propuestos por estos autores, ya que hay una menor contaminación por heces de la fracción líquida. A pesar de todo ello, dado que los valores de la proporción $P_2O_5 \text{ fracción líquida} / P_2O_5 \text{ fracción líquida} + \text{fracción sólida}$ (Cebo 1 vs Cebo 2) en nuestros dos experimentos son similares no se puede afirmar que exista efecto de la estacionalidad sobre la eficiencia de separación heces-orina.

En la Tabla 2 se muestra la producción de residuos en las dos épocas de experimentación, que es lo que en Alonso (2010) se denomina Balance de Masas. La producción de fracción sólida ($\text{kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) fue similar en ambos experimentos no encontrándose diferencias significativas entre los dos cebos aunque fue un 2,70% superior en época invernal-primaveral que en periodo estival. Esto puede deberse al mayor contenido en materia seca en el cebo estival. Sin embargo en la fracción líquida las diferencias sí son significativas, con $31,570 \text{ L} \cdot \text{kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ en el Cebo 1 frente a los $22,290 \text{ L} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ del Cebo 2. Este resultado indica el efecto de la estacionalidad en la evaporación de parte de la orina, tal y como los autores señalan en anteriores trabajos desarrollados en el LBP (Alonso *et al.*, 2010; Alonso *et al.*, 2011).

Tabla 2. Producción de residuos con sistema de separación in situ cinta de los dos experimentos

Variables	Cebo 1	Cebo 2	N¹	EEM²
	Invernal Primavera	Estival		
	Fracción sólida	Fracción sólida		
$\text{kg} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	1,000	0,891		
$\text{kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	13,200	12,833	12	0,4189
% MS media	27,25	31,59		
$\text{kg MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,277	0,236		
$\text{kg MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	3,656	4,053	12	0,1545
	Fracción líquida	Fracción líquida	N¹	EEM²
$\text{L} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	2,359	1,513		
$\text{L} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	31,570 ^a	22,290 ^b	12	1,5669
ST (mg/L)	20,260	22,099		
$\text{kg} \cdot \text{MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,047	0,033		
$\text{kg} \cdot \text{MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,643	0,515	12	0,0348
	Total residuos	Total residuos	N¹	EEM²
$\text{kg} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	3,359	2,438		
$\text{kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	45,496 ^a	35,238 ^b	12	1,6969
$\text{kg} \cdot \text{MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,334	0,269		
$\text{kg} \cdot \text{MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	4,246	4,080	12	0,0209

¹ N: número de muestras.; ² EEM: error estándar de la media.; PV: peso vivo.; MS: materia seca. ST: sólidos totales.; Peso específico medio de la fracción líquida (calculado) en Invierno 1,015 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, en verano 1,023 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; ^{a,b} Para cada factor o combinación de factores medias con superíndices distintos difieren significativamente $P < 0,05$ (Test Duncan)

En el mismo sentido para el ratio de producción total de residuos " $\text{kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ " aparecieron diferencias significativas siendo esta un 22,54% superior en el cebo invernal primaveral que en el cebo estival. No obstante el sistema es muy eficiente en la reducción de residuos con respecto a la indicada por ASAE (2003) de $84 \pm 24 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ en ambas épocas del año (53,57% cebo invernal primaveral vs 59,23% cebo estival). Por otro lado como era de esperar no hubo diferencias significativas entre los dos cebos para el ratio " $\text{kg MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ " de la fracción sólida, la fracción líquida y el total de residuos.

Las Figuras 2 y 3 muestran la evolución de las temperaturas medias interiores y exteriores en ambos periodos de cebo. Estas gráficas ponen de manifiesto el buen control ambiental llevado a cabo en los dos periodos, manteniendo una temperatura media entre los 20 y 25°C en el interior de las salas óptima para la producción porcina (Buxadé *et al.*, 2009).

Por otra parte la temperatura media exterior fue muy superior en el Cebo 2 (periodo estival) que en el Cebo 1 (periodo invernal-primaveral). Esto unido a que la fase de acabado del cebo estival coincidió con los días más calurosos del año hizo que el efecto de la ventilación fuese más acentuado y se evaporase más orina de las deyecciones sobre la cinta que en el cebo invernal-primaveral, ya que la ventilación estaba regulada para conseguir una determinada temperatura interior ($23 \pm 1^\circ\text{C}$).

Además este efecto es más acusado en las horas centrales del día cuando se registran las temperaturas exteriores más altas, por lo que los caudales de ventilación son mayores y hay más deyecciones sobre la cinta (Alonso *et al.*, 2011). Sin embargo en el cebo en época invernal-primaveral hubo temperaturas exteriores mucho más bajas

(11°C Temperatura media del Cebo 1 vs 21°C Temperatura Media del Cebo 2), y por lo tanto los caudales de ventilación necesarios para alcanzar una temperatura óptima fueron inferiores. Todo ello podría explicar las diferencias que han aparecido en la producción de orina en los dos cebos y que corresponde con un efecto de estacionalidad en el funcionamiento del sistema de separación de deyecciones in situ con cinta plana del LBP.

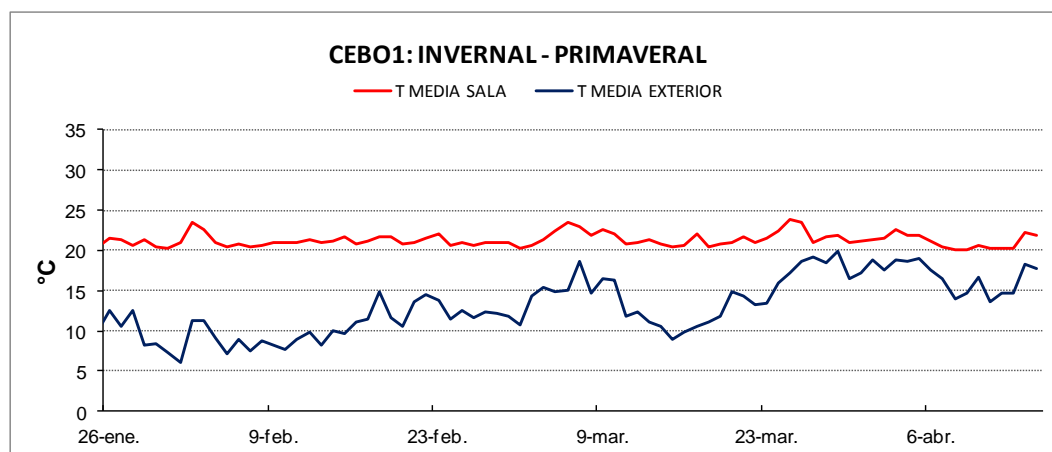


Figura 2. Evolución a lo largo del ciclo de Cebo 1 de la temperatura media exterior ($T^{\circ}\text{C}$ - MEDIA EXTERIOR) y del interior del alojamiento ($T^{\circ}\text{C}$ - MEDIA SALA)

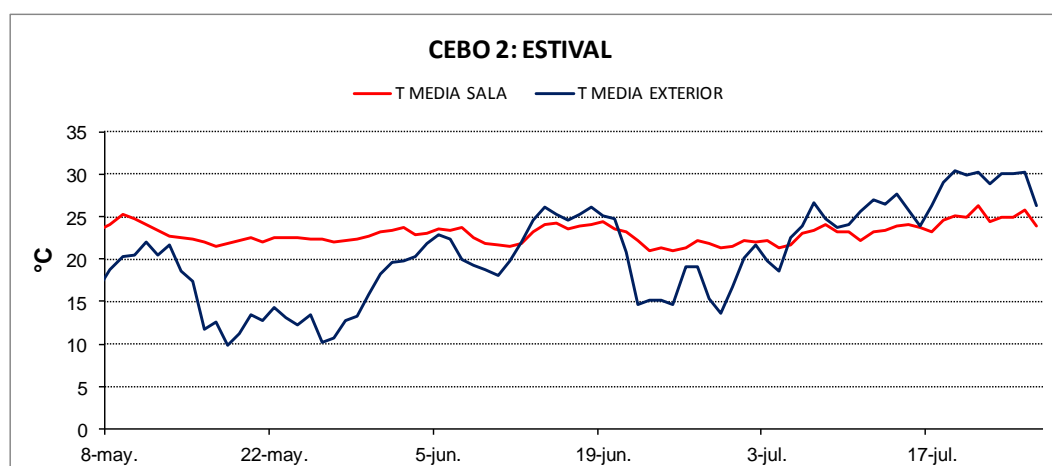


Figura 3. Evolución a lo largo del ciclo de Cebo 2 de la temperatura media exterior ($T^{\circ}\text{C}$ - MEDIA EXTERIOR) y del interior del alojamiento ($T^{\circ}\text{C}$ - MEDIA SALA)

Conclusiones

Existe un efecto de la estacionalidad en la eficiencia del funcionamiento del sistema de separación in situ con cinta plana ya que la cantidad de residuos generados en el cebo en época estival fue el 77,46 % respecto a la correspondiente en época invernol-primaveral.

La eficiencia del sistema de ventilación por extracción bajo suelo para reducir la cantidad de residuos generados fue superior en la época estival que en la época invernol-primaveral.

El sistema de separación in situ con cinta plana del Laboratorio de Bienestar Porcino de la Universidad Politécnica de Madrid, se muestra altamente eficiente en condiciones de temperaturas exteriores altas y medias-bajas.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por TRAGSA. Los autores quieren mostrar su agradecimiento a esta empresa pública española.

Bibliografía

- Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M., 2007. Environmental impact of daily removal of pig manure with a conveyer belt system. International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture. CD-Rom Proceedings of the 16-19 September 2007 Conference. Broomfield, Colorado. USA.
- Alonso, F., 2010. Evaluación técnica del sistema multifondo móvil regulable bajo enrejillado parcial en porcino de cebo. Tesis Doctoral. E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Alonso, F., Vázquez, J., Ovejero, I., Garcimartín, M.A., Mateos, A., Sánchez, E., 2010. Belt separation system under slat in fattening pig housing: effect of belt type and extraction frequency. Bioresource Technology. Aug; 101(15): 6230-4.
- Alonso, F., Mateos, A., López, M., Sánchez, E., Iglesias, S., Vázquez, J., Galán, L., Garcimartín, M.A., Calero, R., Ovejero, I., 2011. Fosa de purines vs separación in situ de heces y orina en porcino de cebo: producción de purín y de estiércol. vi Congreso Ibérico de Agroingeniería. Evora, Portugal. Sep 02-05.
- ASAE., 2003. Manure Production and characteristics. ASAE Standards D384.1 ASAE. St. Joseph, USA.
- Baird, C., Humenik, F., Rice, M., Classen, C., Liehr, S., Zering, K., Van Heugten. E., 2004. Belt System for Manure Removal. Project Report for Attorney General Agreements Initiative. May 27.
- Bremner, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J., 1965. Inorganic forms of nitrogen. Methods of soil. Analysis part 2. Am. Soc. of Agro.; Wis. 9: pp. 1179-1237.
- Buxadé, C., Forcada, F., Babot, D., 2009 Ganado porcino: diseño de alojamientos e instalaciones. Editorial Servet Barcelona, España.
- Hesse, P.R., 1971. Total nitrogen. The Kjeldahl process. A textbook of soil chemical analysis. Editorial John Murray. Great Britain. Pp. 520.
- Koger, J.B., Van Kempen, T.A.T.G., Kaspers, B.A., Burnette, R.P., Van Kempen, M., 2003. Swine housing with a belt for separating urine and feces; key to flexibility. Swine Housing II, Conference Proceedings, Raleigh, North Carolina, USA, Oct 12-15. pp 159-165.
- MAGRAMA, 2006. Guía de mejores técnicas disponibles en Ganado Porcino. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ministerio de Medio ambiente. Madrid, España.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1993. Métodos oficiales de análisis. Editorial Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España.
- Ovejero, I., Daza, A., Garcimartín, M.A., Vázquez, J., 2004. Design of an Experimental Fattening Pig Housing: Part I, Climatic Control. International Symposium in of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Evora, Portugal. May 02-06.
- Vázquez, J., Garcimartín, M.A., Ovejero, I., Daza, A., 2001. A new integral system for waste management in pig housing, based on a special and adjustable floor belt

under partial slat, to avoid slurry production. Sixth International Livestock Environment Symposium. Louisville. Kentucky. USA. May 21-23.

PA06 - Caracterización de las fracciones sólida y líquida obtenidas mediante separación *in situ* de heces y orina en cebo de cerdos.

Mateos, A.¹; Del Campo, I.²; Rebole, A.²; Rodriguez, M.²; Ovejero, I.¹

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. España, a.mateos@upm.es; ² Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. España, arebole@ucm.es.

Resumen

Uno de los retos de la producción ganadera intensiva es evitar el impacto ambiental de las explotaciones. Existen distintas estrategias para minimizar este impacto en el caso de los purines de cerdo. Una de estas estrategias es la separación *in situ* de heces y orina, obteniendo así una fracción sólida (FS) y una fracción líquida (FL) menos contaminantes y más fáciles de manejar. Ya está descrita la eficacia de separación de las heces y la orina mediante el sistema de cintas planas inclinadas perteneciente al Laboratorio de Bienestar Porcino (E. T. S. Ing. Agrónomos-Universidad Politécnica de Madrid); por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue la caracterización de las citadas fracciones obtenidas en dos salas que diferían en el tipo de suelo continuo (hormigón desnudo vs hormigón recubierto de resina epoxídica).

Para ello, a lo largo de un periodo de cinco semanas, se analizaron las heces, la orina, la FS y la FL obtenidas. De las distintas variables estudiadas, solamente la materia seca (MS) de la FS y el contenido en N total, el contenido en N-NH₃ y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de la FL se vieron afectadas significativamente por la sala: la MS de la FS fue significativamente menor (255,4 vs 276,0 g.kg⁻¹, $p = 0,0463$) y el contenido en N total, el contenido en N-NH₃ y la DBO de la FL significativamente mayores (4,8 vs 3,8 g.kg⁻¹, $p = 0,0083$; 4,2 vs 3,3 g.kg⁻¹, $p = 0,0143$; 231 vs 196 mg.L⁻¹, $p = 0,0072$, respectivamente) para la sala con el suelo continuo acabado en resina epoxídica que para la sala con el suelo continuo de hormigón desnudo, si bien los resultados se explican por el desperdicio de agua y no por el tipo de suelo. Independientemente de la sala, las fracciones líquidas tuvieron valores de pH, de N-NH₃ y de la relación 'N-NH₃/N total' notablemente mayores que las orinas.

Palabras clave: porcino, cinta de deyecciones, estiércol.

Characterization of the solid and liquid fractions obtained by *in situ* separation of feces and urine in fattening pig facility.

Abstract

One of the challenges for the intensive farming is to avoid the environmental impact of the livestock farms. For the particular case of pig slurry, there are different strategies to minimize this impact. One of those strategies is the *in situ* separation of faeces and urine, obtaining by this way a solid fraction (SF) and a liquid fraction (LF), less contaminants and easier to handle. Already described the separation efficiency of faeces and urine using the system of inclined flat belts under slat belonging to the Pig Welfare Laboratory (E. T. S. Ing. Agrónomos-Universidad Politécnica de Madrid, Spain), so the objective of this study was the characterization of those fractions produced in two rooms that differed in the type of continuous floor (concrete floor or concrete covered with epoxy resin). During a five weeks period time, faeces, urine, SF and LF collected were analysed. Of the different variables studied, only the dry matter (DM) of the SF and the total nitrogen and NH₃-N contents and biochemical oxygen demand (BOD) of the LF were affected significantly by the room: the DM of the SF was significantly lower (255.4 vs 276.0 g.kg⁻¹, $p = 0.0463$) and the total nitrogen and NH₃-N contents and BOD of the LF were significantly higher (4.8 vs 3.8 g.kg⁻¹, $p = 0.0083$; 4.2 vs 3.3 g.kg⁻¹, $p = 0.0143$; 231 vs 196 mg.L⁻¹, $p = 0.0072$, respectively) for room with continuous floor covered with epoxy resin than for room with concrete floor, although the results are explained by the waste of water and not by the type of floor. Regardless of the room, the liquid fractions had pH values and NH₃-N contents and the ratio 'NH₃-N/total N' higher than the urines.

Keywords: swine, conveyor belt, manure.

Introducción y Justificación

Generalmente, los alojamientos de cebo de cerdos cuentan con suelos totalmente enrejillados bajo los que se ubican fosas de purín en las que se mezclan las heces y la orina de los animales, junto con desperdicios de pienso y de agua y, en su caso, agua de limpieza de los locales. El purín así producido es responsable de gran parte de los problemas medioambientales de las explotaciones de ganado porcino y, además, por su escaso contenido en materia seca, es difícil de valorizar como abono agrícola.

Existen distintas técnicas para concentrar los nutrientes de este estiércol líquido y para reducir su carga contaminante, que, en general, incluyen una separación sólido-líquido cuyo rendimiento es bastante limitado; además, la utilización de estas técnicas tiene costes elevados.

Por otra parte, si se recogiesen por separado las heces y la orina producidas por los cerdos, podrían darse usos diferenciados a los productos así obtenidos aprovechando sus distintas características: las heces contienen la mayor parte de la materia orgánica y del fósforo excretado por los cerdos (Poulsen *et al.*, 1999), y la orina, la mayor parte del nitrógeno (Aarnink *et al.*, 1993).

Todo ello ha llevado, en los últimos años, al desarrollo de sistemas que buscan la separación en el propio alojamiento (separación *in situ*) de las heces y la orina evitando así la producción de purín, y que utilizan cintas transportadoras colocadas bajo la zona enrejillada de alojamientos con *slat* parcial. Uno de los sistemas propuestos es el patentado por Vázquez *et al.* (2002), que se encuentra instalado en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid y cuya eficiencia ya ha sido contrastada (Alonso *et al.*, 2008; Alonso *et al.*, 2010; Ovejero *et al.*, 2010). Aunque con diferencias entre los distintos sistemas, dicha separación no es perfecta: lo que en realidad se obtiene son dos fracciones claramente diferenciadas: la fracción líquida, compuesta por la mayor parte de la orina producida y una pequeña parte de heces arrastradas y la fracción sólida, consistente en las heces con cierta contaminación por orina y con un mayor o menor grado de humedad.

El objetivo principal de este trabajo fue caracterizar las fracciones sólida y líquida obtenidas mediante separación *in situ* de heces y orina en el LBP; asimismo, se buscó comprobar la posible influencia del tipo de suelo continuo (hormigón desnudo vs hormigón recubierto con resina epoxídica) sobre las características de dichas fracciones.

Materiales y Métodos

Instalaciones

Este trabajo se ha desarrollado en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. El alojamiento dispone de un piso superior donde se encuentran los animales y un piso inferior en el que se sitúan los sistemas de recogida y separación de deyecciones. El piso superior consta de cuatro salas totalmente independientes. Cada

sala tiene seis corrales o boxes donde se alojan los animales. Los corrales tienen el suelo parcialmente enrejillado (60% de suelo continuo y 40% de suelo enrejillado). En la zona de suelo continuo se sitúa el comedero tipo tolva holandesa, y en la zona de enrejillado, un bebedero de cazoleta.

Para el presente estudio sólo se han utilizado las salas 1 y 4: la Sala 1 tiene el suelo continuo de hormigón, y la Sala 4, de hormigón recubierto con resina epoxídica (impermeable y antideslizante).

En el piso inferior, bajo la zona de suelo enrejillado, están situadas las cintas para la separación *in situ* de heces y orina. En ambas salas (1 y 4) son cintas planas con inclinación transversal (6°) (Figura 1).

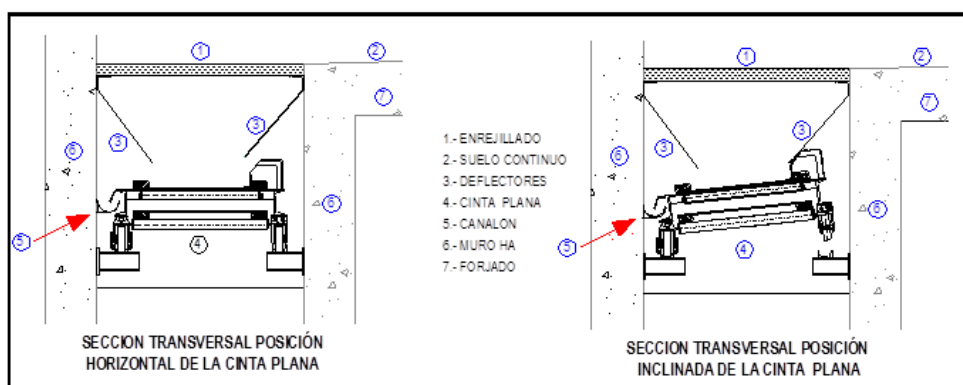


Figura 1. Esquema de las cintas planas situadas bajo el suelo enrejillado de las salas 1 y 4.

Los animales defecaron y orinaron preferentemente en la 'zona sucia' o zona de suelo enrejillado. Las heces y la orina atravesaban la rejilla y caían sobre las cintas. La orina escurría transversalmente y era llevada mediante un canalón a un contenedor situado en la cola de la estructura. Las heces quedaban sobre la cinta y eran extraídas una vez al día (10:00 horas).

El sistema de ventilación fue por extracción bajo suelo, con los extractores situados en el piso inferior. El aire, tras recorrer las salas ocupadas por los animales, atravesaba el enrejillado y, antes de salir al exterior, circulaba sobre las cintas contribuyendo al secado de las deyecciones acumuladas en ellas. En la Tabla 1 se indican las temperaturas habidas durante el periodo experimental.

Tabla 1. Temperaturas ambientales durante el periodo experimental¹.

Lugar	M MIN ² (°C)	M MED ² (°C)	M MAX ² (°C)
SALA1/Hormigón ³	18,7 ± 0,4	21,4 ± 0,9	24,1 ± 1,6
SALA 4/Resina ³	18,0 ± 0,4	21,3 ± 1,0	24,6 ± 1,8
EXTERIOR	10,0 ± 2,1	17,7 ± 2,1	25,3 ± 2,6

¹Media ± desviación típica; ²M MIN: media de mínimas. M MED: media de medias. M MAX: media de máximas; ³Hormigón: suelo continuo de hormigón desnudo; resina: suelo continuo recubierto con resina epoxídica.

Animales y dietas

Se han utilizado un total de 84 cerdos cruzados (Piétrain x Duroc) x (Large White x Landrace), 42 en cada sala, distribuidos por sexos en los distintos corrales (7 cerdos/corral; 1,05 m²/cerdo). En cada sala la mitad de los animales fueron machos (3

corrales) y la mitad hembras (3 corrales), todos ellos inmunocastrados. La experiencia se realizó durante 5 semanas (10 de abril a 15 de mayo de 2014). Los pesos vivos (PV) iniciales y finales, las velocidades de crecimiento y los consumos de pienso de los cerdos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Pesos vivos iniciales (PVi) y finales (PVf), ganancia media diaria de peso (GMD) y consumo medio diario de pienso (CMD) de los cerdos durante el periodo experimental¹.

Sala/Suelo continuo	PVi (kg.cerdo ⁻¹)	PVf (kg.cerdo ⁻¹)	GMD (g.cerdo ⁻¹ .d ⁻¹)	CMD (g.cerdo ⁻¹ .d ⁻¹)
1/Hormigón ²	97,9 ± 12,2	135,2 ± 15,3	1.096 ± 146	3.302 ± 293
4/Resina ²	98,9 ± 8,9	135,5 ± 11,2	1.077 ± 149	3.222 ± 216

¹Media ± desviación típica; ²Hormigón: suelo continuo de hormigón desnudo; resina: suelo continuo recubierto con resina epoxídica.

Todos los animales, tanto machos como hembras, fueron alimentados *ad libitum* con el mismo pienso comercial. A lo largo del periodo experimental, se tomaron muestras de pienso en dos ocasiones para su análisis. Las muestras de pienso se molieron y, a continuación, se analizó su composición siguiendo los métodos de la AOAC (1995). En la Tabla 3 se muestra la composición analizada media resultante de ambos muestreos.

Tabla 3. Composición analizada de los piensos utilizados durante el periodo experimental.

Constituyentes analíticos	% en MF ¹
Humedad	12,11
Cenizas brutas	4,20
Proteína bruta	13,58
Extracto etéreo	4,95
Fibra bruta	4,04
ELN	61,39
Fósforo	1,07

¹MF: materia fresca

Recogida de muestras y análisis de laboratorio

La recogida de heces (H), orina (O), fracción sólida (FS) y fracción líquida (FL) se realizó dos veces por semana (a excepción de la semana 2 en la que sólo se tomaron muestras en una ocasión) durante las cinco semanas que duró el experimento. Los cuatro tipos de muestras fueron recogidos los mismos días.

Para cada una de las salas, las muestras de orina se tomaron directamente de cinco cerdos cada vez mientras los animales orinaban. Las muestras se mezclaron, se guardaron en recipientes herméticos y se analizaron en conjunto. Las heces se tomaron directamente mientras los animales defecaban o inmediatamente después recogiendo del suelo. Se tomaron muestras de cinco animales cada vez, se mezclaron, se guardaron en recipientes herméticos y se analizaron en conjunto. La FL producida a lo largo de 24 horas en cada sala se acumuló en contenedores y se homogeneizó antes de tomar las muestras; éstas se guardaron en recipientes herméticos para su posterior análisis. La FS retenida sobre las cinta durante 24 horas se volcó en contenedores y se

mezcló hasta que la fracción tuvo un aspecto homogéneo; seguidamente se tomaron las muestras y se guardaron en recipientes herméticos para su posterior análisis.

Todas las muestras se llevaron al laboratorio inmediatamente tras su recogida. Las muestras de H y FS y una parte de las muestras de O y FL se congelaron (-20 °C) y posteriormente se liofilizaron (Liolabor 3 L-85-3264, Telstar S.A., Tarrasa, Spain). De las muestras liofilizadas se separaron tres submuestras. En estas se analizó a continuación el contenido en humedad, nitrógeno Kjeldahl (AOAC, 1995) y fósforo (Peters, 2003).

Otra parte de las muestras de O y FL se analizaron en fresco, determinándose así el contenido en nitrógeno Kjeldahl y nitrógeno amoniacal (N-NH_3), y se midió el pH (Peters, 2003). Además, se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mediante un equipo Aqualytic de control termostático (Modelo AL 185, Liebherr).

Análisis estadísticos

Los datos correspondientes a los contenidos en materia seca, en N total, en N-NH_3 y en P, así como los correspondientes a la proporción ' $\text{N-NH}_3/\text{N total}$ ', al pH y a la DBO se sometieron a análisis de varianza según el modelo que incluía la sala o tipo de suelo como factor fijo, utilizando el procedimiento ANOVA del programa SAS (SAS Institute, 2002).

Resultados y Discusión

Los resultados correspondientes a las heces y a la fracción sólida (FS) aparecen en la Tabla 4. Como era de esperar, en el caso de las heces no hubo diferencias entre tipo de suelo continuo para ninguna de las variables consideradas.

En general, el contenido en materia seca (MS) de la FS fue mayor que el obtenido por Aarnink y Ogink (2007) y menor que el conseguido por Koger *et al.* (2014); también fue menor que el logrado en las instalaciones del LBP en trabajos previos (Alonso *et al.*, 2008; Alonso *et al.*, 2010). Las diferencias entre los distintos sistemas de cintas para la eficiencia de separación heces-orina, los pesos de los animales utilizados (y, por tanto, las producciones diarias de deyecciones), el momento y la frecuencia de retirada de la fracción sólida (vaciado de las cintas) y el sistema de ventilación utilizado explican las diferencias observadas. En concreto, el menor contenido en materia seca de la FS encontrado en este trabajo que los encontrados en ensayos anteriores llevados a cabo en el LBP puede explicarse porque ahora sólo se ha considerado la fase de acabado en lugar del periodo total de cebo, lo que supuso una mayor acumulación media de deyecciones en las cinta y, consecuentemente, una menor relación superficie/volumen de las mismas, y porque los caudales medios de ventilación utilizados ($\text{m}^3.\text{kg PV}^{-1}.\text{h}^{-1}$) fueron menores que en los trabajos previos debido a que, a diferencia de estos últimos, la época del año en que transcurrió la presente prueba no incluyó ningún periodo del verano.

Sí hubo diferencias significativas entre salas para el contenido en materia seca de la FS (suelo de hormigón, $276,0 \text{ g.kg}^{-1}$; suelo de resina, $255,4 \text{ g.kg}^{-1}$; $p = 0,0463$), lo que en principio resulta sorprendente dado que ambas salas compartían tipo y condiciones de funcionamiento de las cintas de deyecciones, y sistema y caudal de ventilación. La explicación de esta diferencia parece estar en el notablemente mayor consumo aparente de agua habido en la Sala 4 (suelo continuo de resina; $10,1 \pm 1,4 \text{ L.animal}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) que en

la Sala 1(suelo continuo de hormigón; $7,8 \pm 1,1$ L.animal⁻¹.dia⁻¹): este mayor consumo aparente en la Sala 4 se debió al desarrollo por varios animales de dicha sala de un comportamiento de juego con los bebederos que dio lugar a un considerable desperdicio de agua que, al caer sobre la cinta, humedeció las deyecciones acumuladas sobre ella.

Tabla 4. Características de las heces y de la fracción sólida.

Variable	n ¹	Sala 1 Hormigón ²	Sala 4 Resina epoxídica ²	EEM ³	p ⁴
<i>Heces</i>					
Materia seca (MS), g.kg ⁻¹	9	223,2	234,3	6,06	0,2139
Nitógeno total, g.kg ⁻¹ MS	9	47,9	49,5	0,78	0,1800
Fósforo, g.kg ⁻¹ MS	9	74,3	77,0	1,48	0,2233
<i>Fracción sólida</i>					
Materia seca (MS), g.kg ⁻¹	9	276,0	255,4	6,72	0,0463
Nitógeno total, g.kg ⁻¹ MS	9	59,9	61,4	1,15	0,3780
Fósforo, g.kg ⁻¹ MS	9	70,1	74,1	1,58	0,0937

¹n: número de observaciones. ²Hormigón: suelo continuo de hormigón desnudo; resina epoxídica: suelo continuo recubierto con resina epoxídica. ³EEM: error estándar de la media. ⁴p: probabilidad (análisis de varianza).

Sin diferencias entre tipos de suelo continuo para el contenido en N total por kg MS de la FS, en ambas salas fue mayor que el de las heces (59,9 vs 47,9 g.kg⁻¹ MS para la FS y las heces, respectivamente, en la Sala 1; 61,4 vs 49,5 g.kg⁻¹ MS en la Sala 4). Lo contrario sucedió para el contenido en P: 70,1 vs 74,3 g.kg⁻¹ MS para la FS y las heces, respectivamente, en la Sala 1; 74,1 vs 77,0 g.kg⁻¹ MS en la Sala 4. Estos resultados coinciden con lo observado por Aarnink y Ogink (2007) y se explican por la retención de parte de la orina en la fracción sólida.

En la Tabla 5 se indican los resultados correspondientes a la orina y a la fracción líquida (FL). Como es lógico, al igual que en el caso de las heces, no hubo diferencias entre salas para ninguna de las variables consideradas para caracterizar la orina.

Aunque sin diferencias significativas, el contenido en materia seca de la FL fue numéricamente mayor en la sala con suelo continuo de resina que en la de suelo continuo de hormigón (35,1 vs 25,7 g.kg⁻¹; $p = 0,2265$). Este resultado contradice lo encontrado por Cabezas (2010) en un estudio anterior llevado a cabo en las mismas instalaciones del LBP, quien observó que la MS de la FL fue significativamente mayor con el suelo de hormigón que con el suelo de resina epoxídica y explicó la diferencia por la mayor cantidad de suciedad acumulada en el suelo continuo de hormigón (poroso) que en el de resina (impermeable), lo que conllevaría que la orina caída sobre el suelo continuo arrastrase más sólidos en suspensión en el caso del suelo de hormigón. En nuestro caso, cabe pensar que el apuntado desperdicio de agua ocurrido en la Sala 4 (suelo continuo de resina) habría arrastrado una importante cantidad de heces desde la cinta de deyecciones con destino a la fracción líquida, lo que habría compensado holgadamente el efecto del tipo de suelo indicado por Cabezas (2010).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de la FL fue significativamente mayor en la Sala 4 que en la Sala 1 (231 vs 196 mg.L⁻¹, $p = 0,0072$) y, en ambas salas, tomó valores muy superiores a los de la orina: en la Sala 1, la DBO de la FL supuso el 130 % de la

DBO de la orina, y en la Sala 4, el 152 %. Estos resultados se explican por el citado mayor arrastre de heces hacia la FL ocurrido en la Sala 4, como consecuencia del desperdicio de agua provocado por los juegos de los cerdos en los bebederos de dicha sala, y muestran que el potencial contaminante de la FL es mayor que el de la orina.

Tabla 5. Características de la orina y de la fracción líquida.

Variable	n ¹	Sala 1	Sala 4	EEM ³	p ⁴
		Hormigón ²	Resina epoxídica ²		
<i>Orina</i>					
Materia seca (MS), g.kg ⁻¹	9	30,8	31,6	2,78	0,8303
Nitrógeno total (N), g.kg ⁻¹	9	7,0	7,4	0,75	0,7049
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃), g.kg ⁻¹	9	0,19	0,22	0,03	0,4886
N-NH ₃ /N, %	9	2,5	3,0	0,30	0,2542
Fósforo, g.kg ⁻¹ MS	9	40,6	39,9	4,48	0,9115
pH	9	7,29	7,09	0,09	0,1329
DBO ⁵ , mg.L ⁻¹	9	151	152	14,06	0,9825
<i>Fracción líquida</i>					
Materia seca (MS), g.kg ⁻¹	9	25,7	35,1	5,32	0,2265
Nitrógeno total (N), g.kg ⁻¹	9	3,8	4,8	0,23	0,0083
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃), g.kg ⁻¹	9	3,3	4,2	0,24	0,0143
N-NH ₃ /N, %	9	85,2	87,1	1,56	0,4025
Fósforo, g.kg ⁻¹ MS	9	35,4	32,7	5,70	0,7400
pH	9	9,19	9,21	0,02	0,3376
DBO ⁵ , mg.L ⁻¹	9	196	231	8,06	0,0072

¹n: número de observaciones. ²Hormigón: suelo continuo de hormigón desnudo; resina epoxídica: suelo continuo recubierto con resina epoxídica. ³EEM: error estándar de la media.

⁴p: probabilidad (análisis de varianza). ⁵DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

Tanto el N total como el N amoniacal de la FL fueron significativamente mayores en la Sala 4 que en la Sala 1 (N total: 4,8 vs 3,8 g.kg⁻¹, $p = 0,0083$; N amoniacal: 4,2 vs 3,3 g.kg⁻¹, $p = 0,0143$). Nuevamente, estas diferencias pueden explicarse por el desperdicio de agua provocado por los animales de la Sala 4 y el consiguiente arrastre de heces hacia la FL: el contenido en MS de la FL de la Sala 4 supuso el 137 % del de la Sala 1 mientras que el contenido en N total de la FL de la Sala 4 sólo representó el 126 % del de la Sala 1, y, como se desprende de los datos de las Tablas 4 (heces) y 5 (orina) el contenido en N total, expresado en g.kg⁻¹ MS, de las heces fue mucho menor que el de la orina (47,9-49,5 vs 227,3-234,2).

En relación con el N, dos aspectos distinguen claramente la orina de la FL: en la FL, el contenido en N total fue notablemente inferior y el contenido en N amoniacal y la proporción N amoniacal/N total muy superiores que en la orina. Las diferencias entre los pH de la orina y los de la FL explican la distinta importancia del N amoniacal en cada una de ellas; las emisiones de NH₃ por la FL son las responsables de su menor contenido en N total.

Nuestros resultados para los contenidos en N total y N amoniacal y para la proporción N amoniacal/N total de la FL están en la línea de lo observado por Aarnink y Ogink (2007). Koger *et al.* (2014), en cambio, encontraron un porcentaje de N amoniacal respecto al N

total sensiblemente inferior al de nuestro trabajo (71 % vs 85-87 %): el hecho de que estos autores almacenasen la FL en un depósito cerrado y nosotros lo hiciésemos en uno abierto puede estar en el origen de la diferencia.

Conclusiones

De los resultados de este trabajo se desprende que el posible desperdicio de agua provocado por el comportamiento de los cerdos es más determinante para las características de la FS (contenido en MS) y de la FL (DBO, contenidos en N total y N amoniacal) generadas en un alojamiento de cebo con separación *in situ* de heces y orina que el tipo de suelo continuo utilizado.

Estos resultados también ponen de manifiesto que la FL es muy diferente de la orina, y sugieren que para mantener el potencial fertilizante de la FL y reducir sus emisiones de amoníaco debe tratarse con el fin de evitar la subida de su pH y almacenarse en depósitos cerrados.

Agradecimientos

A la empresa pública TRAGSA, por la fundamental ayuda en la puesta en marcha del Laboratorio de Bienestar Porcino.

Bibliografía

- Aarnink, A.J.A., Hoeksma, P., van Ouwerkerk, E.N.J., 1993. Factors affecting ammonium concentrations in slurry from fattening pigs. In: Verstegen, M.W.A., den Hartog, L.A., van Kempen, G.J., Metz, J.H.M. (Eds.), Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequence, pp. 413-420. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M., 2007. Environmental impact of daily removal of pig manure with a conveyor belt system. In: Proceedings of the International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, paper No. 701P0907cd. Broomfield, CO.
- Alonso, F., Vázquez, J., Sánchez, E., Ovejero, I., Mateos, A., Garcimartín, M. A., 2008. Comparison of dry matter content of pig faeces in two belt separation systems. In: Proceedings of Livestock Environment VIII, paper No. 701P0408. Iguassu Falls, Brazil.
- Alonso, F., Vázquez, J., Ovejero, I., Garcimartín, M.A., Mateos, A., Sánchez, E., 2010. Belt separation system under slat in fattening pig housing: Effect of belt type and extraction frequency. Bioresour. Technol. 101 (15), 6230–6234.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists International. Arlington, VA.
- Cabezas, A., 2010. Influencia del tipo de cinta de deyecciones y del tipo de suelo sobre la eficacia de separación de orina en un alojamiento experimental de ganado porcino sin producción de purín (Trabajo Fin de Carrera). Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid.
- Koger, J.B., O'Brien, B.K., Burnette, R.P., Kai, P., van Kempen, M.H.J.G., van Heugten, E., van Kempen, T.A.T.G., 2014. Manure belts for harvesting urine and feces separately and improving air quality in swine facilities. Livest. Sci. 162, 214-222.
- Ovejero, I., Mateos, A., Alonso, F., López, M., Calero, R., Iglesias, S., Vázquez, J., Sánchez, E., Garcimartín, M.A., 2010. Separación *in situ* de heces y orina mediante cinta de deyecciones bajo slat en alojamientos de cebo de ganado porcino. En:

- Libro de actas del II Congreso Español sobre Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas, ECOFARM 2010, 191-194. Barcelona, España.
- Peters, J. (Ed.), 2003. Recommended Methods of Manure Analysis. University of Wisconsin-Extension, U.S. Department of Agriculture and Wisconsin Counties Cooperating. Cooperative Extension Publishing Operations. Madison, WI.
- Poulsen, H.D., Jongbloed, A.W., Latimier, P., Fernández, J.A., 1999. Phosphorus consumption, utilization and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livest. Prod. Sci.* 58 (3), 251-259.
- SAS Institute 2002. SAS/STAT® User's Guide, version 9. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Vázquez, J., Garcimartín, M.A., Ovejero, I., Daza, A., Oñate, I., Calero, R., Ortega, R., López, M., 2002. System with an adjustable movable base placed beneath a wire floor used for the continuous separation of faeces and urine or for the combined handling of both products in pig installations. International Patent WO/2002/094011.

PA07 - Correlación entre pH y color de la carne durante la fase post-mortem en cerdos: diferenciando entre carnes PSE y DFD

Bermejo-Poza, R.¹; Villarroel, M.², Mitchell, M.³, Farish, M.³, De la Fuente, J.¹, Barreiro, P.⁴

¹ UCM, Fac. Vet. Dpto. Prod. Animal, Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040, Madrid. rbermejop89@gmail.com; ² UPM, ETSIA Dpto. Prod. Animal, Avenida Puerta de Hierro 2, 28040, Madrid;

³ SRUC, The Roslin Institute Building, Easter Bush, Midlothian, EH25 9RG, Edinburgh, United Kingdom;

⁴ UPM, ETSIA Dpto. Ingeniería Agroforestal, Avenida Complutense 3, 28040, Madrid.

Resumen

Normalmente, la calidad de la carne de cerdo se mide usando un pH-metro a los 45 min y 24 horas *post-mortem*, lo que implica tener que penetrar la canal, pudiendo conllevar riesgo de contaminación por parte del medidor. Sería más fácil y más útil el tomar una imagen de la canal o de la carne en esos mismos tiempos y llevar a cabo una estimación del pH basado en el color ($L^*a^*b^*$). Por ello es de utilidad conocer las correlaciones entre pH y color para poder determinar de una manera más fácil si una carne es de mala calidad. En este ensayo se ha analizado el pH y el color de la carne en lomo (*Longissimus dorsi*) y pierna (*Semitendinosus*) a los 45 min y 24 horas *post-mortem* de 1.680 cerdos correspondientes a 84 viajes, en el interior del Reino Unido, para sacrificio en matadero. La carne de cerdo se clasificó en seis categorías según sus pH 45 min ($pH_{45} \geq 6,2$, $pH_{45} < 6,2$) y pH 24 horas ($pH_{24} < 5,4$, $pH_{24} = 5,4 - 5,8$, $pH_{24} \geq 5,8$). De la misma forma, las carnes fueron divididas en seis categorías de color según unas variables de color normalizadas ($L^*a^*b^*$). En vista a nuestros resultados, comprobamos que el pH muscular se puede medir indistintamente en lomo o en pierna, dando un mayor porcentaje de carnes PSE que DFD. Por otro lado, el color a los 45 min presentó mayor variabilidad que a las 24 horas *post-mortem*. Tras un análisis de la correlación pudimos observar que el pH a los 45 minutos está muy correlacionado con el color a las 24 horas *post-mortem*. Podemos concluir que la variabilidad disminuye a las 24 horas y que hay cierta relación predictiva entre el pH 45 min y el color final (24 horas).

Palabras clave: transporte, estrés, calidad de carne.

Correlation study of pork muscle pH and colour during post-mortem period: PSE and DFD meat

Abstract

Normally pork meat quality is measured using a pH-meter at 45 min and 24 hours *post-mortem*, but that involves penetrating the carcass with subsequent risks of contamination. It would be easier and more useful to take a picture of the carcass or meat at those same times and estimate pH based on $L^*a^*b^*$ values. Therefore, it would be useful to know the correlation between muscle pH and colour to determine more easily meat quality. We analyzed the pH and colour values of *Longissimus dorsi* and *Semitendinosus* muscles at 45 min and 24 hours *post-mortem* of 1680 pigs from 84 journeys transported in the United Kingdom and slaughtered at slaughterhouse. The pork meat was classified into six groups according to their pH 45 min ($pH_{45} \geq 6.2$, $pH_{45} < 6.2$) and pH24 hours ($pH_{24} < 5.4$, $pH_{24} 5.4-5.8$, $pH_{24} \geq 5.8$). Likewise, pork meat was divided into six groups of color by standard colour variables ($L^*a^*b^*$). In view of our results, we checked that pH muscle can be measured either in back or leg, giving a higher percentage of PSE than DFD meat. Furthermore, the color at 45 min showed greater differences than at 24 hours *post-mortem*. After an analysis of the correlation, we observed that pH at 45 minutes is highly correlated with the color at 24 hours *post-mortem*. We conclude that variability decreases after 24 hours and there is some predictive relationship between pH 45 min and the final color (24 hours).

Keywords: transport, stress, meat quality.

Introducción y/o Justificación

Los consumidores dan importancia a la relación calidad-precio de la carne, pero también consideran la garantía de obtener un producto de gran calidad, ligado con el bienestar animal (Payne et al., 1999). Por lo tanto, todas las partes implicadas en el sector buscan una producción óptima de la carne de cerdo de manera cualitativa, pero actualmente sigue habiendo dos grandes problemas: las carnes DFD (dark, firm and dry) y, especialmente en cerdos, las carnes PSE (pale, soft and exudative) (Van de Perre et al., 2010a; Van de Perre et al., 2010b; Adzitey and Nurul, 2011).

Factores como el manejo en la granja, la genética de los cerdos, la estación del año, el manejo pre-sacrificio, el transporte y descarga en el matadero y el manejo de los cerdos en el matadero son puntos importantes que pueden influir en el nivel de estrés de los animales y ser responsables del desarrollo de calidades de carne no aptas para consumo (Brown et al., 2005; Van de Perre et al., 2010a; Van de Perre et al., 2010b).

En las etapas iniciales del periodo *post-mortem*, el metabolismo es anaerobio y se produce la transformación de las reservas de glucógeno muscular en ácido láctico, lo que desencadena una caída del pH muscular. La carne PSE es producida por un estrés agudo momentos antes al sacrificio, lo que provoca un aceleramiento del proceso de glucogenolisis. Un bajo pH debido al ácido láctico, mientras que la temperatura de la canal es todavía alta, da lugar a un incremento de la desnaturación proteica dentro de la carne (Garrido et al., 1995). Debido a este proceso, la carne PSE presenta la propiedad de tener una alta dispersión de la luz y un bajo pH (Adzitey and Nurul, 2011). Por otro lado, las carnes DFD se caracterizan por tener altos valores de pH a las 24 horas *post-mortem* provocados por un estrés previo al sacrificio que hace que se agoten todas las reservas de glucógeno y no se produzca el suficiente ácido láctico para la caída del pH, causando el deterioro bacteriológico de la carne fresca e importantes problemas tecnológicos en productos curados (Tarrant, 1989).

Por ello, el pH es un factor determinante de calidad de la carne en porcino, ya que su valor y la caída del mismo durante el periodo *post-mortem* puede influir en la estructura proteica y la humedad superficial del músculo y, como consecuencia, afectar al color *post-rigor* de la carne (Offer, 1991; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005; Scheffler y Gerrard, 2007). Otro aspecto importante de la calidad de la carne en porcino, es el color de la misma, que a su vez está influido por el pH. La mayoría de los estudios del efecto del pH sobre el color de la canal se han centrado en las razas comerciales más comunes en los países occidentales (Landrace, Large White y Duroc), ya que en estos mercados la calidad de la carne de cerdo viene dada entre otras características por el color pasadas al menos 24 horas *post-mortem*, momento en el que el color está relativamente desarrollado (Huff-Lonergan et al., 2002; Edwards et al., 2003; Brewer et al., 2004).

Se ha estudiado previamente la relación del pH inicial con el color de la carne a las 24 horas *post-mortem*, encontrando que están fuertemente correlacionados (Duan et al., 2013). Sin embargo, no hay estudios que demuestren una relación entre el color de la carne en las etapas tempranas del periodo *post-mortem* y el pH final de esa carne, lo que de ser así sería una gran ventaja, ya que se podría estimar el pH final de una carne sin tener que penetrar la canal con una sonda.

El objetivo de este estudio fue determinar las correlaciones existentes entre el pH y el color de la carne de cerdos en lomo (músculo *Longissimus dorsi*) y pierna (músculo

Semitendinosus) a los 45 min y 24 horas *post-mortem* y tipificarlas según se acerquen a carnes PSE o DFD.

Material y Métodos

Para la realización de la prueba se contó con las canales de 1.680 cerdos blancos sacrificados en el matadero comercial de la ciudad de Hull. Se transportaron en 84 viajes (20 animales por viaje), por el interior de Reino Unido en los alrededores del matadero. Cada transporte fue identificado por un número, así como cada una de las canales de cada viaje.

En cada viaje se cuantificó el pH del lomo (*M. longissimus dorsi*) y de la pierna (*M. semitendinosus*) de cada canal a los 45 min (pH45) y a las 24 horas *post-mortem* (pH24) mediante la utilización de un pH-metro (HANNA, mod. HI9125) con una sonda de penetración ajustable por temperatura. Con estos datos se calculó la caída de pH de las canales ($\Delta\text{pH} = \text{pH24} - \text{pH45}$). También fue medido el color de las canales a los 45 min y 24 horas *post-mortem* utilizando un espectrocolorímetro MINOLTA CM-2500c (Minolta, Osaka, Japón). Como escala de color fue utilizado el sistema CIE $L^*a^*b^*$ (CIE, 1976), obteniendo los parámetros de luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*) para cada canal en los mismos músculos que en el caso del pH.

Las canales porcinas se clasificaron en seis categorías de pH para lomo y pierna según el pH45 ($\text{pH45} \geq 6,2$, $\text{pH45} < 6,2$) y pH24 ($\text{pH24} < 5,4$, $\text{pH24} = 5,4 - 5,8$, $\text{pH24} \geq 5,8$). Los valores seleccionados para definir estas categorías se basaron en la definición de carnes PSE ($\text{pH24} < 5,4$) y DFD ($\text{pH45} \geq 6,2$). Las variables de color L^* , a^* y b^* se normalizaron restando a cada valor inicial la media de cada variable y dividiéndolo por la desviación típica para así obtener variables independientes de la unidad de medida y con la misma dispersión y media. Además de la clasificación por pH, se agruparon las canales en seis categorías según las seis variables normalizadas de color (L^* , a^* y b^* en lomo y pierna). En el caso de las categorías de pH se numeraron del -2 al 3 (-2, -1, 0, 1, 2 y 3), mientras que las de color fueron numeradas del 1 al 6 (1, 2, 3, 4, 5 y 6).

Tanto para la realización de las figuras como del análisis estadístico se utilizó el programa MATLAB. Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre el pH y el color ($L^*a^*b^*$) a los 45 min y a las 24 horas *post-mortem*.

Resultados y Discusión

En las Tablas 1 y 2 se presenta la clasificación de las canales en las seis categorías según el pH a los 45 minutos y 24 horas *post-mortem* en lomo y pierna. Tanto en el lomo como en la pierna, la mayoría de las canales se situaron en las categorías 0 y 3, seguidas de la categoría -2. Las categorías -1 y 2 son las que presentaron el menor número de canales. Los valores de pH a 45 min y 24 h referenciados en la literatura para las carnes PSE son: pH 45 min $< 6,0$ y pH 24 h $= 5,3$ (Swatland, 2000; Barbut et al., 2005; Swatland, 2008), y para las DFD: pH 45 min $= 6,4$ y pH 24 h $> 6,0$ (Bartos et al., 1993; Kreikemeier et al., 1998; Swatland, 2000; Viljoena et al., 2002; Mounier et al., 2006). De acuerdo con estos rangos, la categoría -2 correspondería con las carnes PSE mientras que la categoría -1, con un menor descenso del pH que el resto, agruparía las canales DFD. Nuestros datos concuerdan con la mayor proporción de carnes PSE

(comparado con DFD) en canales de cerdos (Adzitey and Nurul, 2011), observando el pH tanto en el lomo como en la pierna.

Tabla 1. Clasificación de las canales en categorías (C) según su pH 45 min y pH 24 horas en lomo (M. *longissimus dorsi*)

	pH45 < 6,2	C	pH45 ≥ 6,2	C
pH24 ≥ 5,8	52	-1	111	2
pH24 < 5,8 y ≥ 5,4	548	0	519	3
pH24 < 5,4	286	-2	142	1

Tabla 2. Clasificación de las canales en categorías (C) según su pH 45 min y pH 24 horas en pierna (M. *semitendinosus*)

	pH45 < 6,2	C	pH45 ≥ 6,2	C
pH24 ≥ 5,8	55	-1	75	2
pH24 < 5,8 y ≥ 5,4	709	0	348	3
pH24 < 5,4	349	-2	122	1

En la Figura 1 se observa la relación entre los valores de pH del lomo y la pierna a los 45 minutos y a las 24 horas. Otros autores han observado que los valores de pH de la carne de cerdo varían poco según la zona, con valores similares en pierna, lomo y paletilla (Hoffman et al., 2005). En nuestros resultados existe una muy elevada correlación entre las medidas de pH en la pierna y en el lomo, tanto si son tomadas a los 45 minutos ($r = 0,73$) como a las 24h ($r = 0,91$). Sin embargo, la dispersión es superior al inicio (45 min) que a las 24h.

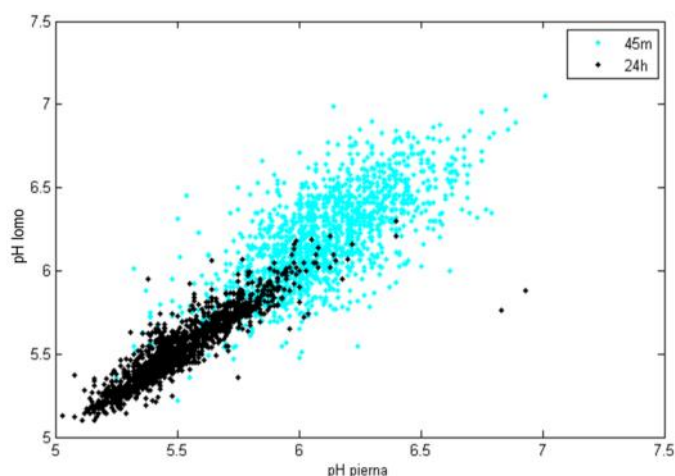


Figura 1. Relación del pH del lomo y de la pierna a los 45 minutos y a las 24 horas

En la Figura 2 se representan las distintas categorías previamente descritas según su pH a las 24 horas y el incremento del mismo en la pierna. Los valores de incremento de pH superiores a cero se entiende que son errores experimentales, ya que al faltar el oxígeno en la carne se desencadena el metabolismo anaerobio y el lactato se transforma en ácido láctico. Debido a esto, no hay explicación fisiológica posible para estos valores de incremento superiores a cero. La clase -1 se podría corresponder con

los animales que no tienen suficientes reservas de glucógeno en el momento del sacrificio (stress crónico) y por eso su descenso de pH en las primeras 24h es muy bajo, lo que correspondería con las carnes DFD (Tarrant, 1989). Por otra parte la categoría -2 se podría asociar con un stress agudo en el momento del sacrificio y de ahí el gran descenso de pH propio de las carnes PSE (Garrido et al., 1995).

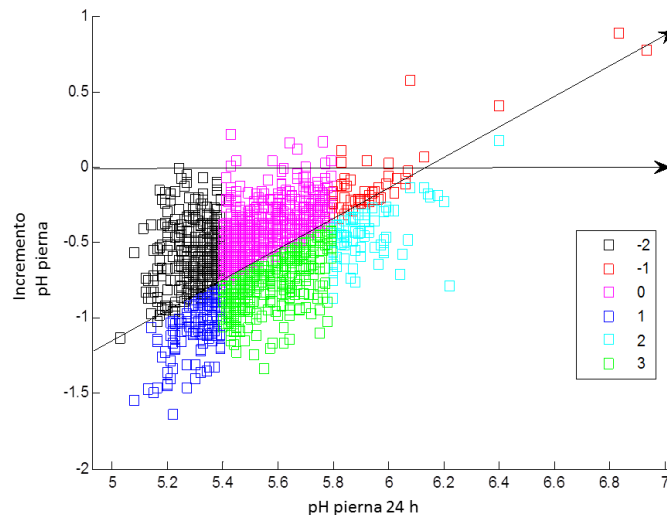
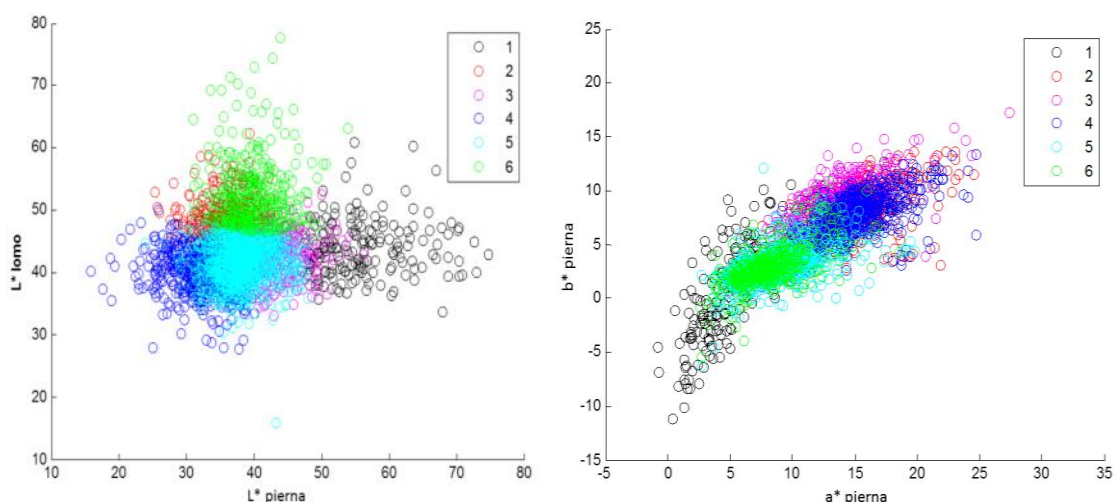


Figura 2. Representación de las categorías según el pH en la pierna, en función del valor final del incremento respecto al esperado (línea de tendencia oblicua)

Las Figuras 3 y 4 presentan la representación de las seis categorías de color en pierna y lomo. Como ya observamos previamente con el pH, el color a las 24 horas presenta menos diferencias entre clases que a los 45 min. Esto es debido a que el color de la carne se completa y estabiliza a las 24 horas *post-mortem* (Edwards et al., 2003; Brewer et al., 2004). Los valores de a^* y b^* son muy estables, mientras que los valores de L^* presentan una mayor dispersión en lomo y pierna.

Las canales correspondientes a la categoría 1 son menos rojas y más azules, perceptibles especialmente en la pierna, lo que podría indicar carnes PSE. Además, esta categoría presenta también el mayor valor de L^* , por lo que podría corresponder con las carnes PSE, ya que se caracterizan por presentar unos valores de L^* en torno a 60-66 (Warriss and Brown, 1993). Que presenten una mayor tonalidad azul podría ser debido a la presencia de hematomas en las zonas de la carne donde se tomó la medida.



Figuras 3 y 4. Categorías de color empleando seis variables normalizadas ($L^*a^*b^*$ en lomo y pierna)

Un análisis de correlación pH/color indica que el color a las 24 h tiene una mejor correlación con el pH a los 45 min que con el pH a las 24h: -0.18 a -0.25 respecto a -0.01 a -0.02. Estudios recientes han demostrado que el pH inicial de la carne está fuertemente correlacionado con el color que presenta la misma a las 24 horas *post-mortem* (Duan et al., 2013). La correlación es negativa con a^* y b^* , es decir, a más pH a los 45 minutos menor valor cromático, con una disminución media de un punto (14 a 13 en a^* y de 8 a 7 en b^*), lo que concuerda con resultados de otros autores como Doknamovic et al. (2015), quienes observaron una correlación negativa entre el pH a los 60 min y los valores de a^* y b^* a las 24 horas.

En la Tabla 3 se han clasificado las canales según las seis categorías de color según a^* y b^* a los 45 min y a las 24 h. La categoría 6 (bajo a^* y b^*) tiende a desaparecer a las 24h (de 138 a 26 individuos) pero hay 9 que se mantienen en la misma categoría. La mayoría son al inicio clases 2 y 3 y a las 24 h pasan a ser mayoritarias las clases 4 y 5 (valores intermedios de a^* y b^*) Además, a las 24 h, aparece un gran número de individuos de una clase extrema (1: alto a^* y b^*): 22 de ellos provienen de la categoría extrema inferior a los 45 min (bajo a^* y b^*). Por tanto algunos individuos sufren un intenso cambio de croma, y otros no cambian nada (datos en la diagonal de la tabla). La suma de los individuos por encima de la diagonal principal comparado con los individuos por debajo indica que el cambio de croma es sesgado (no en cualquier dirección): 1030 respecto a 696.

Tabla 3. Clasificación de las canales en categorías de color (C) según su valor de a* y b* en lomo y pierna a los 45 min y a las 24 h.

Color 45 min								
	C	1	2	3	4	5	6	Total
Color 24 h	1	3	88	330	9	27	22	479
	2	0	11	9	1	0	5	26
	3	0	9	30	2	2	19	62
	4	1	169	289	9	13	63	544
	5	1	74	389	4	24	20	512
	6	0	4	13	0	0	9	26
Total		5	355	1060	25	66	138	

Conclusiones

Los valores de pH 45 min y pH 24 horas en las canales de cerdos observados cubren un amplio rango pero hubo más carnes PSE (pH 24 < 5,3) que DFD (pH 24 > 6.0). Además hubo una elevada correlación entre el pH medido en el lomo y en la pierna, aunque hay mucha más variabilidad en las medidas tomadas a 45 min *post-mortem*. En cuanto al color, también es menos variable a las 24 horas *post-mortem*, y hemos comprobado que se relaciona con el pH 45 min. Concretamente, el a* y b* a las 24 horas son menores a mayor pH a los 45 min. Aunque existe mucha variabilidad en los valores de pH y color, tanto a los 45 min como a los 24 horas, constatamos que en general la variabilidad disminuye a los 24 horas y que hay cierta relación predictiva entre el pH 45 min y el color final (24 horas).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto AW0940 de DEFRA y por los dos proyectos nacionales NEWGAN (referencia S2009/AGR-1704) y MEDGAN P2013/ABI2913, ambos financiados por la Comunidad de Madrid.

Bibliografía

- Adzitey, F., Nurul, H., 2011. Pale soft exudative (PSE- and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences—A mini review. *Int. Food Res. J.* 18, 11–20.
- Barbut, S., Zhang, L., Marcone, M., 2005. Effects of pale, normal and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Sci.* 84, 797–802.
- Bartos, L., Franc, C., Rehák, D., Stípková, L., 1993. A practical method to prevent dark-cutting (DFD) in beef. *Meat Sci.* 34, 275–282.
- Brewer, M.S., Sosnicki, A., Field, B., Hanks, R., Ryan, K.J., Zhu, L.G., McKeith, F.K., 2004. Enhancement effects on quality characteristics of pork derived from pigs of various commercial genetic backgrounds. *J. Food Sci.* 69, 5–10.
- Brown, S.N., Knowles, T.G., Wilkins, L.J., Chadd, S.A., Warriss, P.D., 2005. The response of pigs being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. *Vet. J.* 170, 91–100.
- Commission Internationale de l'Eclairage CIE 1978. Recommendations on uniform color spaces color difference equations, psychometric color terms. Supplement No 2 to CIE Publication No 15. Colorimetry. Bureau Central de la CIE: Paris, France.
- Dokmanovic, M., Baltic, M.Z., Duric, J., Ivanovic, J., Popovic, L., Todorovic, M., Markovic, R., Pantic, S., 2015. Correlations among Stress Parameters, Meat and Carcass Quality Parameters in Pigs. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 28, 435.
- Duan, Y., Huang, L., Xie, J., Yang, K., Yuan, F., Bruce, H.L., Plastow, G.S., Ma, J., Huang, L., 2013. Effect of temperature and pH on postmortem color development of porcine *M. longissimus dorsi* and *M. semimembranosus*. *J. Sci. Food Agric.* 93, 1206–1210.
- Edwards, D.B., Bates, R.O., Osburn, W.N., 2003. Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *J. Anim. Sci.* 81, 1895–1899.
- Garrido, M., Pedauyk, J., Bacon, S., Lopez, M., Laencina, J., 1995. On-line methods for pork quality detection. *Food Control* 6, 111–113.
- Hoffman, L.C., Styger, W.F., Brand, T.S., Muller, M., 2005. The growth, carcass yield, physical and chemical characteristic of two South African indigenous pig breeds. *SA-Anim. Sci.* 6, 25–35.
- Huff-Lonergan, E., Baas, T.J., Malek, M., Dekkers, J.C., Prusa, K., Rothschild, M.F., 2002. Correlations among selected pork quality traits. *J. Anim. Sci.* 80, 617–627.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M., 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71, 194–204.
- Kreikemeier, K.K., Unruh, J.A., Eck, T.P., 1998. Factors affecting the occurrence of dark-cutting beef and selected carcass traits in finished beef cattle. *J. Anim. Sci.* 76, 388–395.

- Mounier, L., Dubroeuq, H., Andanson, S., Veissier, I., 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *J. Anim. Sci.* 84, 1567–1576.
- Offer, G., 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Sci.* 30, 157–184.
- Payne, H.G., Mullan, B.P., Trezona, M., Frey, B., 1999. Variation in pig production and performance. *APSA* 7, 13–26.
- Scheffler, T.L., Gerrard, D.E., 2007. Mechanisms controlling pork quality development: the biochemistry controlling postmortem energy metabolism. *Meat Sci.* 77: 7–16.
- Swatland, H.J., 2000. Meat science: An introductory text. *Meat Sci.* 56, 319.
- Swatland, H.J., 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Sci.* 80, 396–400.
- Tarrant, P.V., 1989. The effects of handling, transport, slaughter and shilling on meat quality and yield in pigs – a review. *Irish J. Food Sci. Tec.* 13, 70–107.
- Van de Perre, V., Ceustermans, A., Leyten, J., Geers, R., 2010a. The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham—Effects of season and lairage time. *Meat Sci.* 86, 391–397.
- Van de Perre, V., Permentier, L., De Bie, S., Verbeke, G., Geers, R., 2010b. Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. *Meat Sci.* 86, 931–937.
- Viljoena, H.F., de Kocka, H.L., Webbb, E.C., 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Sci.* 61, 181–185.
- Warriss, P.D., Brown, S.N., 1993. Relationships between the subjective assessments of pork quality and objective measures of colour. In Wood, J.D., Lawrence, T.L.J. (Eds). *Safety and Quality of Food from Animals. Occasional Publication of the British Society of Animal Production* 17, p 98-101. UK: Edinburgh.

PA08 - Factores ambientales de naves avícolas que influyen en el confort animal y su evaluación mediante CFD

Guerra-Galdo, E.H.¹; Calvet Sanz, S.¹; Estellés Barber, F.¹; López Jiménez, A.²

¹Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España; correos electrónicos: ehgg.-@hotmail.com (E.G.); salcalsa@upvnet.upv.es (S.C.); feresbar@upvnet.upv.es (F.E.)

²Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España; correo electrónico: palopez@upv.es

Resumen

En sistemas de producción intensiva el confort de las aves está influenciado por factores ambientales que muchas veces no se corresponden con las necesidades de las líneas genéticas. Esto ocasiona un desequilibrio corporal cuando la temperatura, velocidad y humedad no se encuentran dentro de los parámetros de confort requeridos por los animales.

La ventilación de las naves avícolas permite renovar el aire interior y controlar la temperatura del alojamiento. Altas temperaturas ambientales generan estrés por calor y para disipar el propio calor generado por los animales se utiliza mayor flujo de aire ocasionando mayor pérdida de calor sensible y disminuyendo la pérdida de calor latente del ave. Cuando se combinan altas temperaturas con baja humedad relativa se pierde mayor calor latente. Además, la generación de calor y humedad por parte de los animales se incrementa con su crecimiento. Para mantener el confort dentro de la nave con pollos al final de su ciclo de crecimiento, se recomienda velocidad de $2,0 \text{ m.s}^{-1}$, temperatura $19\text{-}20^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de 60-65%. Existen varios índices que combinan estos parámetros como indicadores de confort, aunque no existe un estándar generalmente aceptado.

La Dinámica Computacional de Fluidos CFD es una herramienta que permite modelar y predecir las condiciones ambientales de temperatura, velocidad y su interacción, considerando la producción de calor de animales, representando el flujo dinámico en las diferentes áreas, la concentración de amoníaco, dióxido de carbono, analizando las instalaciones de engorde y perfeccionar los diseños a partir de la validación de los datos experimentales. Por tanto, es una herramienta de gran utilidad para evaluar cómo el diseño de los alojamientos ganaderos afecta a los parámetros de confort antes indicados, y para diseñar mejores sistemas de ventilación.

Palabras clave: Temperatura, velocidad, humedad, dinámica computacional de fluidos.

Environmental Factors of Poultry Buildings Influencing in the Comfort Animals and their Evaluation using CFD

Abstract

In intensive production systems broiler comfort is influenced by environmental factors that often do not correspond to the real needs of the genetic lines. This causes a bodily imbalance when the temperature, velocity and moisture are not within the ranges of comfort required by the animals.

The ventilation of poultry houses allows the renewal of indoor air and controlling the temperature of the house. High ambient temperatures generate heat stress, and the strategy to dissipate the heat generated by the animals usually consist in providing a higher air flow. This results in greater losses of sensible heat and a decrease of latent heat losses by broilers. However, when high temperatures are combined with low relative humidity, more latent heat is lost. Furthermore, heat and moisture generation by the animals increase with animal growth. To maintain the comfort inside a poultry house at the end of their growth cycle, it is recommended to maintain a velocity of 2.0 m.s^{-1} , a temperature $19\text{-}20^{\circ}\text{C}$ and a relative humidity of 60-65%. There are several indices that combine these parameters as indicators of comfort, although there is not a generally accepted standard.

Computational Fluid Dynamics CFD is a tool which allows modelling and predicting the environmental conditions of temperature, velocity and their interaction. It also allows considering heat production by the animals, and representing the dynamic flow in different areas, as well as ammonia and carbon dioxide concentrations. This is achieved by analyzing the poultry building and refining the designs from the validation of experimental data. Therefore, it is a useful tool to assess how the design of livestock housing affects the parameters comfort listed above, and to design better ventilation systems.

Keywords: Temperature, velocity, humidity, computational fluid dynamics.

1. Introducción

El mejoramiento genético de las aves ha logrado una eficiente conversión alimenticia y mayor rendimiento corporal (Schmidt *et al.*, 2009) siendo alterado cuando éstas están expuestas a temperaturas fuera de la zona termoneutra, ocasionando cambios metabólicos, fisiológicos y comportamentales (Li *et al.*, 2011).

La evaluación de las respuestas de los animales al medio ambiente permite analizar el efecto de la temperatura (T), humedad relativa (HR) y velocidad de aire (V) sobre su productividad. Por otra parte, la revisión del estado del arte de la aplicación de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en el análisis de la distribución de velocidades y temperatura del aire en naves avícolas puede permitir optimizar el diseño de la ventilación.

2. Confort de Aves

Según Medeiros (2001), la zona de confort o termoneutra en las aves varía de acuerdo a su constitución genética, edad, sexo, tamaño corporal, dieta, estado fisiológico, variación de la temperatura ambiente, humedad, radiación y velocidad de aire. En la zona de confort, la tasa metabólica es mínima y la homeotermia se mantiene con el menor gasto de energía, aprovechando al máximo la energía ingerida para el crecimiento (Cordeiro *et al.*, 2010).

2.1 Condiciones de temperatura, humedad y velocidad de viento.

Según Oviedo-Rondón (2014), durante los primeros días de vida las aves deben tener temperaturas uniformes entre 30 y 33°C, pues los pollos hasta el quinto o sexto día tienen la capacidad termorreguladora muy inmadura. A partir del séptimo día la temperatura se puede reducir gradualmente hasta 27-28°C. Xin *et al.* (1994) recomienda 20-21°C en la cuarta semana, mientras que Abreu *et al.* (2011) sugieren 23 y 20°C para la cuarta y sexta semana, respectivamente. Según Olanrewaju *et al.* (2010) en pollos adultos la zona termoneutra se encuentra entre 18 y 24°C. Sin embargo, Schiassi *et al.* (2008) indica un intervalo mayor, entre 15 y 25°C, mientras que Adil y Sedat (2010), en pollos de 3 a 7 semanas, indica una temperatura óptima en las naves avícolas de 21°C con humedad relativa del 65 -70%.

Genç y Portier (2005), en condiciones de laboratorio con temperatura de bulbo seco inicial de 24,8 °C y la humedad relativa de 71%, obtuvieron la pérdida de calor sensible de 2,1 W.kg⁻¹ y la pérdida de calor latente de 4,0 W.kg⁻¹. Sin embargo, con la misma temperatura pero incrementando la humedad relativa desde 50 a 86%, disminuye la producción de calor latente desde 5,7 a 3,0 W.kg⁻¹. La mayor producción de calor latente fue 6,2 W.kg⁻¹, que se dio en combinación de altas temperaturas de bulbo seco y bajos valores de humedad relativa (35°C y 50%). Se observó que a 35°C y 75% HR, las aves

no podían perder calor sensible pero podían perder calor latente hacia el ambiente, mientras que a 35°C y 90% HR no observaron pérdida de calor latente o sensible, pero los pollos respondieron incrementando la temperatura corporal. Estrada *et al.* (2007) observaron en pollos diferencias significativas en la pérdida de calor sensible en función de la temperatura, siendo mayor con temperatura de 19°C (0,76 W) con pollos de 1,908 kg, seguido del tratamiento de 31°C (0,55 W) con pollos de 1,693 kg y de 25°C (0,34 W) con pollos de 1,878 kg. Además, encontraron un efecto del tiempo debido al incremento de la pérdida de calor a medida que avanza la edad del ave (0,47 W, 0,56 W y 0,61 W para la cuarta, quinta y sexta semanas, respectivamente).

La velocidad del aire también afecta a la respuesta al estrés térmico. Según Simmons *et al.* (1997) para pollos de quinta semana con temperatura de 29°C y velocidades de aire incrementando desde 1,01 a 3,05 m.s⁻¹, la pérdida de calor sensible incrementa de 1,19 a 2,09 W.kg⁻¹ y la pérdida de calor latente disminuye desde 2,89 a 2,09 W.kg⁻¹. En la sexta semana de edad la pérdida de calor sensible se incrementó desde 1,30 a 2,33 W.kg⁻¹, mientras que la pérdida de calor latente disminuyó de 2,59 a 2,30 W.kg⁻¹. Según Adil y Sedat (2010), en los meses de febrero y marzo el calor sensible disipado por los pollos tuvo un rango de 1,39-5,23 W y la humedad liberada por los pollos rangos desde 1,30-4,20 g.h⁻¹. Sin embargo, en el mes de Agosto y setiembre el calor sensible disipado tuvo un rango desde 0,93-5,23 W y la humedad liberada por los pollos tuvo un rango de 0,80-4,20 g.h⁻¹.

2.2 Respuesta de Adaptación de las Aves

Los medios de pérdidas de calor basados en intercambios térmicos entre el ave y el ambiente son menos eficaces a medida que aumenta la temperatura ambiente. Las temperaturas por debajo de la zona de confort pueden desencadenar cuadros hipotérmicos, mientras que las aves sometidas a temperaturas elevadas mostrarán signos de estrés por calor.

a. Respuestas Fisiológicas

En la primera semana de edad, los pollos de engorde expuestos a altas temperaturas inducen hipertermia, seguido por deshidratación (Estrada *et al.*, 2007). Pollos expuestos a 36°C en el séptimo día disminuyeron la ganancia de peso y redujeron en la ingestión de alimento y eficiencia alimenticia. Asimismo, estos animales presentan disminución del peso del corazón y reducción del hematocrito y plasma triiodothyronina (T3) (Moraes, 2002).

A 42 días de edad a 35°C y entre 20 y 30% de HR los pollos presentan un incremento de la temperatura cloacal y una mayor mortalidad (Yahav y Hurwitz, 1996). Según Estrada *et al.* (2007) presentan también jadeo en exceso y mayor tasa respiratoria, produciendo alcalosis respiratoria en un esfuerzo por disipar el calor por evaporación (Olanrewaju *et al.*, 2010). Por ello se produce vasodilatación a nivel cutáneo, un incremento del ritmo cardiaco para aumentar el flujo sanguíneo y facilitar la disipación del calor corporal al ambiente (Ferreira *et al.*, 2011). También, el ave estresada por calor es más liviana y tiene más grasa total y abdominal en un 0,8 y 1,6%, respectivamente, por cada grado de incremento de la temperatura ambiental (Estrada y Márquez, 2005).

b. Modificaciones comportamentales

Los pollos presentan mayores problemas con temperaturas ambientales altas y empiezan a manifestar cambios reduciendo su actividad física, intentando alejarse unos de otros, buscando estrategias de refrigeración por evaporación (jadeo), que se complementa con el aleteo gular (Estrada y Márquez, 2005). Igualmente, aparecen comportamientos como bañarse en la cama, buscar zonas más húmedas bajo los bebederos, o adoptar posturas particulares extendiendo sus extremidades (alas y patas). De esta forma, en situaciones de estrés los pollos permanecen echados y escarban, aumentando también el consumo de agua.

2.3 Humedad Relativa (HR)

La renovación del aire del medio ambiente interior de las naves avícolas por aire del exterior es importante para la eliminación del exceso de vapor de agua; así se reduce la humedad relativa, evitando que la humedad se condense en las paredes y el techo. Cuando el aire se calienta; la humedad afecta a la sensación térmica, dado que el calor es tolerable con una baja tasa de humedad, pero no es tolerable cuando la humedad es alta (Ponciano et al., 2012). Por otra parte, al incrementarse la temperatura el aire se expande en volumen y puede retener más humedad.

Bombik et al. (2011) menciona que en naves con menos densidad de pollos la humedad relativa es menor en la semana 1, 3, 6 los valores son 61,4%, 67,5% y 68,8% respectivamente que en la nave con pollos de mayor densidad (66,1%, 72,7% y 75,6%, respectivamente). De acuerdo con Mazanowski (2011), el óptimo valor para pollos de carne debería ser de 60 - 65%, con una desviación permitida de 55 y 70%. Respecto al tipo de ventilación, Xin et al. (1994), en una nave convencional transversal encontró un valor medio del 56%, mientras que en una nave tipo túnel fue del 64%. Según Seedorf et al. (1998), estos valores oscilan entre 57 y 71%. Así pues, la configuración de la ventilación parece afectar a la humedad relativa del aire.

2.4 Ventilación

El flujo de aire y la turbulencia afecta a la dispersión de gases y partículas contaminantes los cuales son peligrosos para la salud del animal y trabajadores. Para ello es necesario conocer los patrones de distribución de aire y las características de turbulencia de la ventilación del flujo de aire, ya que la cantidad de aire fresco ayuda a mantener las temperaturas adecuadas, ayuda a eliminar el exceso de calor y humedad, CO₂, amoníaco polvo y otros gases. El efecto de la ventilación también depende de las condiciones meteorológicas, del entorno interno y edad de las aves (Abreu et al., 2011). Sin embargo la temperatura del aire interior suele ser mayor (al menos en 1,5 - 2,0°C) que la del aire exterior.

La selección de la tasa de ventilación necesaria en una instalación está relacionada directamente con las diferencias entre las temperaturas externas e internas, con el calor sensible generado por los animales, el calor sensible ganado por el sol a través de la radiación, la resistencia térmica al flujo de calor a través de las paredes y el piso (en función del coeficiente global de transferencia de calor al perímetro de la estructura y al área de la misma), así como al calor sensible generado por las luces y equipos internos entre otros (Osorio et al., 2012).

Para controlar e incrementar la velocidad del aire se utilizan en naves abiertas ventiladores con sistema de ventilación lateral (presión positiva) o más frecuentemente extractores (presión negativa), en naves transversales o tipo túnel (Abreu et al., 2011). Según Febrer et al. (2006), la ventilación asistida por ventilador conduce a menores niveles de amoníaco dentro de la granja, rompe la estratificación de la temperatura, y proporciona una temperatura más uniforme para las aves en toda la nave.

Según Lacy y Czarick (1991) las temperaturas dentro de las naves avícolas ventilados por presión negativa pueden mantenerse en una desviación inferior a 1 ó 2°C de la temperatura deseada usando las entradas de aire y los ventiladores por depresión, minimizando el uso de combustible, las corrientes de aire y los problemas de cama húmeda durante épocas frías. La velocidad del aire en una nave de ventilación tipo túnel es mayor que la ventilación cruzada convencional. Así, estos autores estimaron que velocidades de aire de 2,33 a 2,83 m.s⁻¹ llegan a crear en invierno vientos fríos de 5 a 10°C dependiendo de la edad del ave. En el caso que las naves sean más pequeños de 120 m, la velocidad de cálculo ideal es de 2 m.s⁻¹, dependiendo de la edad de las aves y la temperatura exterior el número de extractores que se deben de emplear para conseguir mantener a los animales dentro de la zona de confort termoneutral. Dozier et al. (2006) reportaron un incremento en el crecimiento de pollos de 29 y 42 días con mayores velocidades de aire (3,0 m.s⁻¹) cuando se expone a altas y moderadas temperaturas de ciclo diurno 25-35-25°C por 24 h, en comparación con las aves sometidas a una velocidad del aire de 2,0 m.s⁻¹. En este mismo sentido, según Olsen, 2012 y Lott et al. (1998), pollos de 3 semanas criados con temperaturas de 29 a 30°C, alcanzaron mayor peso corporal con velocidades de 3,0 m.s⁻¹ que los expuestos a 2,0 o 0,25 m.s⁻¹.

De acuerdo con Yahav et al., 1998, la densidad de aves, la radiación y la conductancia entre las aves puede aumentar la carga de calor y por tanto, la alta densidad de aves puede impedir la ventilación adecuada del animal. En el estudio de Simmons et al. (2003), en una nave con temperatura de 30°C y una creciente velocidad del viento se comprobó que aumentó la pérdida de calor sensible y redujo la pérdida de calor latente. Según Furlan (2006), para reducir el estrés térmico aumentando la velocidad de aire sugiere que esta técnica sólo es aplicable a temperaturas altas (del orden de 35°C).

Yahav et al. (2001), encontraron mayor ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia en pollos de quinta y séptima semana con velocidad de aire de 1,5 y 2,0 m.s⁻¹. Medeiros et al. (2005) tuvieron mejores resultados para pollos de engorde en las fases de crecimiento y acabado con una velocidad de 1,5 m.s⁻¹.

2.5 Índice de Temperatura y Velocidad

Para determinar las condiciones adecuadas de cría y evitar pérdidas económicas asociadas al estrés térmico en el manejo climatizado de las naves avícolas los investigadores han utilizado índices de confort que combinan la temperatura, velocidad del aire y la humedad del medio. Entre ellos se desarrollaron el índice de Temperatura, Humedad y Velocidad-ITHV (Tao y Xin, 2003), el índice de Temperatura de Globo Negro y Húmedo-ITGNH (Moraes, 2002), el índice de Temperatura y Humedad-ITH (Purswell et al., 2012) y Índice Ambiental de Productividad (Medeiros, 2001).

El índice de Temperatura, Humedad y Velocidad (ITHV) fue desarrollado por Tao y Xin (2003) para determinar los efectos de la temperatura del aire (°C), la humedad relativa y

la velocidad del aire (m.s^{-1}) en la homeostasis de las aves. Se pretendía así describir la respuesta de la temperatura corporal a las condiciones de temperatura de bulbo seco entre 35 y 41°C, temperatura de punto de rocío entre 19,4 y 26,1°C, y la velocidad del aire entre 0,2 y 1,2 m.s^{-1} . Así se clasificó el estado de las aves como normal, alerta, peligro o emergencia con la correspondiente variación de temperatura corporal de 1,0, 2,5, 4,0 o mayor a 4,0°C.

El Índice de Temperatura de Globo Negro y Húmedo (ITGNH) fue desarrollado por Buffington et al. (1981) para indicar los efectos de la combinación de la temperatura, el enfriamiento por convección del viento y la humedad dentro de un valor de temperatura. Según Menegali et al. (2008) el ITGNH en la tercera y cuarta semana de edad de los pollos tiene valores de confort máximo de 77,2 y mínimo 73,6. Según Oliveira et al. (2006), las condiciones para el confort térmico fueron 25,1°C y considerando $35,0 \pm 0,14^\circ\text{C}$ en ambientes de calor seco (42% HR) los pollos disminuyeron el consumo de alimento en 20,9%, mientras que en ambientes con $31,2 \pm 1,82^\circ\text{C}$ y 72% HR disminuyó el consumo de alimento en 23,8%, encontrando que el incremento de humedad acentúa el efecto negativo de la temperatura alta sobre el consumo de alimento en las aves.

Así también el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) integra los efectos de la temperatura ($^\circ\text{C}$) y humedad relativa del ambiente con el confort y eficiencia del ave. Según Purswell et al. (2012) ITH mayor a 20,8°C, los pollos reducen el rendimiento y tienen mayor variabilidad en parámetros de producción, siendo el ITH crítico entre 20 y 26°C demandando mayor velocidad del aire o enfriamiento evaporativo para prevenir el estrés térmico y mantener la productividad.

Medeiros (2001), desarrollo el Índice Ambiental de Productividad en base a las respuestas fisiológicas y productivas de los pollos de carne con diferentes temperaturas ($^\circ\text{C}$), velocidad de aire (m.s^{-1}) y humedad, encontrando valores asociados de 21 a 24°C a la máxima productividad; para valores de 25 a 27°C se registraron pérdidas de peso de las aves en torno al 1 a 5%; para valores de 28 a 30°C, pérdidas de 5,1 a 15%; para valores de 31 a 34°C, pérdida de 15,1 a 30%; y para valores por encima de 35°C, pérdidas de 30,1 a 87%. Passini et al. (2013) usaron ventilación artificial y pintura reflectante blanca en la cubierta encontrando una reducción de los valores del ITH (76,8), ITGNH (77,0), en comparación con la ausencia de pintura reflectante, con o sin ventilación artificial, mostraron valores promedio de ITH, ITGNH de 77, 78 respectivamente.

3. Las aplicaciones de CFD en granja

El CFD permite resolver problemas complejos de fluidos, predecir el movimiento de gases y partículas contaminantes alrededor de la nave avícola, comparando la velocidad interna del aire y la energía turbulenta predicha por una simulación CFD con medida de valores hasta una mayor escala experimental en una sección de construcción, esta técnica de simulación puede ser utilizado para resolver los problemas de fluidos reales o hipotéticos, y por lo tanto, tiene el potencial para ser utilizado como una técnica de diseño.

En el control ambiental (son capaces de crear las velocidades adecuadas en la zona ocupada de los animales en las granjas de aves de corral) a menudo son evaluados mediante el uso de herramientas de medición directa (Lee et al., 2007). La medición directa de la velocidad del aire tiene tres inconvenientes principales: (1) el número de

puntos que se puede medir es limitada, lo que dificulta la obtención de un conocimiento exhaustivo de los patrones de la velocidad del aire en interiores; (2) la medición directa requiere un agente de medición, que interfiere inevitablemente con la velocidad del aire y por lo tanto distorsiona la salida de medición; y (3) las mediciones de campo requieren la existencia de un edificio. Como resultado de estas limitaciones, el número de edificios que pueden ser estudiados por medición directa es restringido y las conclusiones obtenidas a partir de dichos estudios no puede ser considerada universalmente representativa. (Blanes-Vidal et al., 2008) y la Dinámica de fluidos computacional (CFD) evitan estos inconvenientes mediante el cálculo del campo de flujo numérico y simulación de los patrones de velocidad del aire. Fluent CFD tiene varios modelos de turbulencia disponible: no viscoso, laminar, turbulento, k-e estándar, RNG k-e, realizable k-e, k-e estándar, SST k-e y Reynolds promedio Navier-Stokes (RANS) que determinan el efecto de la turbulencia sobre el flujo. (Norton et al., 2007).

3.1 Estudios de CFD en Naves avícolas

Estudios previos sobre los métodos CFD para predecir el flujo de aire en naves avícolas por lo general se basaron en recintos cerrados con una sola entrada de aire (una ranura de entrada debajo del techo). Bjerg et al. (2002), utilizaron un termistor multicanal con sensor para medir el flujo vertical y horizontal de la velocidad del aire y un sensor ultrasónico para medir la velocidad del aire cerca del suelo. Bustamante et al. (2013) utilizaron un sistema de medición multisensor equipado con tres tipos de sensores: velocidad del aire, temperatura y diferencia de presión, para modelar y validar la eficiencia de ventilación en naves avícolas con ventilación mecánica cruzada. Mostafa et al. (2012) realizaron la evaluación de la distribución de la temperatura del aire y amoníaco utilizando datos de la estación meteorológica, estación de flujo de aire, sensores de amoníaco dentro de una nave avícola equipada con sistemas de conducto de ventilación, diseñando cuatro sistemas de ventilación para mejorar la ventilación dentro de naves.

Seo et al. (2009) utilizaron el método del gas trazador para encontrar un sistema de ventilación óptima y mejorar las condiciones de crianza con ventilación natural en una nave convencional en Corea durante la temporada de frío. Norton et al. (2010) realizó un estudio de la influencia de la porosidad del techo y la velocidad del aire en las paredes de la granja, el efecto de la abertura del alero mejorando la eficiencia de la ventilación en la granja durante las condiciones de viento natural. Olsen (2012) utilizó el CFD para mejorar la extracción de energía térmica del ático en naves avícolas. Los cálculos entre el CFD y los experimentos son bastantes estrechos, permite a los diseñadores obtener resultados comparativos informales para tomar mejores decisiones de diseño con diferentes estructuras. Lee et al. (2007) compararon los resultados de una nave avícola tipo túnel medidos con la velocimetría de imágenes de partículas con el CFD, encontrando flujos de aire muy similares usando el modelo numérico de turbulencia RNG k- ϵ .

3.2 Flujos de aire con CFD en instalaciones pecuarias

Las técnicas de CFD han sido validadas por mediciones directas y pueden ser utilizados para explorar la eficiencia de ventilación y para identificar diseños óptimos de granjas avícolas, así como para evaluar su gestión óptima. Bustamante et al. (2013), observaron gran fluctuación de los valores de la velocidad del aire en una granja con ventilación mecánica, teniendo una media global de $0,63 \pm 0,54 \text{ m.s}^{-1}$ y las medias por sección son $0,59 \pm 0,50 \text{ m.s}^{-1}$ (Sección A) y $0,68 \pm 0,58 \text{ m.s}^{-1}$ (Sección B) y por Limite $0,51 \pm 0,70 \text{ m.s}^{-1}$ (Límite I), $0,64 \pm 0,37 \text{ m.s}^{-1}$ (Límite II), $0,75 \pm 0,39 \text{ m.s}^{-1}$ (Límite III) y $0,64 \pm 0,62 \text{ m.s}^{-1}$ (Límite IV). Esta variabilidad es debido a la turbulencia dentro de la granja y a la ubicación de los sensores. Obtuvieron valores promedios de la velocidad del aire de $0,60 \pm 0,56 \text{ m.s}^{-1}$ por CFD y $0,64 \pm 0,54 \text{ m.s}^{-1}$ por medida directa no encontrándose diferencias significativas. (Bjerg et al., 2002), encontraron la tasa de flujo de aire fue de $0,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en una diferencia de presión de 10 Pa.

Blanes-Vidal et al. (2008), encontraron que la máxima velocidad fue de $3,97 \text{ m.s}^{-1}$ a 2 m de altura, cerrado en la entradas; la velocidad de aire mínima fue $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ y fue obtenido a 0,6 m de altura, cerrado por las paredes del ventilador y entre ambos ventiladores. La velocidad obtenida de las mediciones a la altura de las aves fue $0,36 \pm 0,14 \text{ m.s}^{-1}$; la velocidad obtenida de la simulación CFD $0,54 \pm 0,22 \text{ m.s}^{-1}$ y $0,33 \pm 0,13 \text{ m.s}^{-1}$ obtenido del ajuste de la simulación de la CFD. (Seo et al., 2009), encontraron una ventilación eficiente de la zona de los pollos de $0,002 \text{ m.s}^{-1}$.

Simulaciones CFD en condiciones de calor y humedad Blanes-Vidal et al. (2008), usaron del índice temperatura-humedad-velocidad (ITHV) propuesto por Tao y Xin (2003), sometiendo pollos de engorde de 46 días de edad y 2,8 kg de peso corporal, a una temperatura de 35°C con una humedad relativa de 65%, llegarían a un estrés en estado de peligro de calor (definida como un aumento de la temperatura corporal de $2,5^{\circ}\text{C}$ de la normal) en 126 minutos, si la velocidad del aire es de $0,36 \text{ m.s}^{-1}$ (velocidad del aire medida a la altura medio del ave); en 152 minutos, si la velocidad del aire es de $0,56 \text{ m.s}^{-1}$ (promedio de velocidad de aire simulada-CFD a la altura de las aves); y en 122 minutos si la velocidad del aire es $0,33 \text{ m}$ (media ajustada la velocidad del aire a la altura de las aves). Por lo tanto, la simulación CFD sobreestima en un 20,6% el tiempo para llegar a un estrés térmico en estado de peligro en la nave en condiciones de estrés por calor, y los resultados de la simulación se ajusta con las 27 medidas experimentales subestimando ese momento en un 3,2%.

3.3 Temperatura

(Mostafa et al., 2012) utilizaron el CFD para medir la temperatura del aire en un diseño estándar en la zona de los pollos encontrando un promedio de $23,86^{\circ}\text{C}$, siendo localizada la menor temperatura en las ranuras de entrada ($2,63^{\circ}\text{C}$) y la mayor temperatura en las salidas de los extractores de aire caliente ($34,12^{\circ}\text{C}$). (Seo et al., 2009), en la zona de los pollos el modelo IB-5 tiene 14% mayor idoneidad térmica y 32% mayor uniformidad térmica que el modelo convencional y mantiene una ventilación eficiente, reduciendo en 8% la carga calorífica para toda la granja y en 47% en la zona de los pollos. Osorio et al. (2013) demostraron en la primera fase de crecimiento de los pollos no existe diferencia significativa entre los datos experimentales y el modelo en CFD encontrando temperaturas entre $28,8$ y $28,3^{\circ}\text{C}$. Damasceno et al. (2014) no encontraron diferencias en el promedio de la temperatura de la salida del aire de CFD

(34,6°C) y la media de los datos experimentales (34,5°C), y la velocidad promedio de la salida del aire fue 3,70 m.s⁻¹ con CFD y 3,60 m.s⁻¹ con los datos experimentales.

3.4 Masa

Los métodos CFD posee muchos elementos necesarios para desarrollar modelos fiables para la predicción de las emisiones de amoníaco en granjas de ventilación natural, teniendo en cuenta los efectos de la configuración de ventilación del edificio, la ubicación de la granja y potencialmente las características del suelo. (Bjerg et al., 2002; Seo et al., 2009), en la granja de pollos la concentración máxima de polvo durante el periodo de crianza de pollos de engorde se redujo en 35% desde 9,7 mg.m⁻³ para la granja convencional y 6,3 mg.m⁻³ para el sistema moderno. Los resultados de CFD para cada modelo indicaron que la eficiencia de la ventilación en la zona de pollos de engorde fue de 2-38% mayor que en la nave general de pollos de engorde, encontrando un modelo óptimo que fue más eficaz para eliminar el aire contaminado que el modelo convencional. Osorio et al. (2012), propusieron un modelo en CFD para determinar la distribución de concentraciones de NH₃, en naves avícolas que trabajan con ventilación natural principalmente durante periodo diurno, encontrando una correlación significativa entre los datos experimentales con el modelo en CFD desarrollado. (Mostafa et al., 2012) la reducción de la concentración de amoníaco en la zona del ave fue mayor con el diseño estándar pero fue alcanzado por la nave 4 donde la eficiencia de la reducción fue del 15% después de 3 minutos de encender el ventilador.

4. Conclusiones

El manejo ambiental en naves avícolas para lograr el confort de los pollos al final del ciclo de crecimiento se encuentran entre 19 y 20°C, humedad relativa entre el 60-65%, para mantener estos valores en condiciones de verano es necesario tener sistemas de ventilación mecánico con velocidades de aire de 2 m.s⁻¹, para evitar el estrés por calor. El ambiente interno de las instalaciones avícolas actualmente es analizado con la Dinámica de Fluidos Computacional obteniéndose resultados parecidos con las mediciones directas, demostrando la ventaja que tiene esta herramienta para mejorar, optimizar los diseños de estructuras combinando el uso de diferentes sistemas de ventilación, transferencia de calor y masa para mejorar el confort térmico del ave.

5. Agradecimientos

Este trabajo es financiado por el Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo del Perú-PRONABEC.

6. Bibliografía

- Abreu, V. M. N., de Abreu, P. G., Coldebella, A., Jaenisch, F. R. F., dos Santos Filho, J. I., de Paiva, D. P., 2011. Curtain color and lighting program in broiler production: I general performance. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40(9), 2026–2034.
- Adil, A., Sedat B., 2010. Determination of Heat and Moisture Balance for Broiler House. *Journal of Animal y Veterinaria Avances* 9(14), 1899-1901.

- Bjerg, B., Svidt, K., Zhang, G., Morsing, S., Johnsen, J. (2002). Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. *Computers and Electronics in Agriculture* 34(1-3), 223–235.
- Blanes-Vidal, V., Guijarro, E., Balasch, S., Torres, A.G., 2008. Application of computational fluid dynamics to the prediction of airflow in a mechanically ventilated commercial poultry building. *Biosystems Engineering* 100(1), 105-116.
- Bombik, T., Biesiada-Drzazga, B., Bombik, E., Frankowska, A., 2011. The influence of temperature and humidity conditions on productivity and welfare of broiler chickens. *ACTA Sci. Pol. Zoot.* 10 (4), 23-30.
- Buffington, D. E., Collasso-Arocho, A., Canton, G. H., 1981. Índice Negro globo-humedad (BGHI) como ecuación de confort para las vacas lecheras. *Transacción de la ASAE*, San José, 24, 711-714.
- Bustamante, E., García-Diego, F.-J., Calvet, S., Estellés, F., Beltrán, P., Hospitaler, A., Torres, A. G., 2013. Exploring Ventilation Efficiency in Poultry Buildings: The Validation of Computational Fluid Dynamics (CFD) in a Cross-Mechanically Ventilated Broiler Farm. *Energies* 6(5), 2605-2623.
- Cordeiro, M. B., Ferreira Tinôco, de F. I., da Silva, J. N., Vigoderis, R. B., de Assis de Carvalho, P. F., Cecon, P. R., 2010. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(1), 217–224.
- Damasceno, F. A., Osorio Saraz, J. A., Barreto, M. L., Martin, S., Martins, M. A., 2014. Evaluation of a Heating System in Poultry Houses Using a CFD Model. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 67(2), 7355-7363.
- Dozier, W. A., Purswell, J. L., Branton, S. L., 2006. Growth responses of male broilers subjected to high air velocity for either twelve or twenty-four hours from thirty-seven to fifty-one days of age. *Agriculture Poultry Research* 15, 362-366.
- Estrada, M. M., Márquez, S. M., 2005. Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18(6), 246-257.
- Estrada-Pareja, M., Márquez-Girón, S. M., 2007. Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20, 288-303.
- Febrer, K., Tracey, A. J., Christl, A. D., Stamp, D. M., 2006. Forced to crowd or choosing to cluster? Spatial distribution indicates social attraction in broiler chickens. *Animal Behaviour*. 72, 1291-1300.
- Ferreira, V. M., Francisco, N. S., Belloni, M., Aguirre, G. M. Z., Caldara, F.R., Nääs, I.A., García, R.G., Almeida Paz, I. C. L., Polycarpo G.V., 2011. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities *Rev Bras. Cienc. Avic.* 13, 2.
- Furlan, R. L., 2006. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. VII Simpósio Brasil Sul de Avicultura 104-135.
- Genç, L., Portier, K. M., 2005. Sensible and Latent Heat Productions from Broilers in Laboratory Conditions 29, 635-643.
- Lacy, M., Czarick M., 1991. Ventilating poultry houses on cold days. *Poultry Digest.* 50, 68-69.
- Lee, I. B., Sase, S., Sung, S. H., 2007. Evaluation of cfd accuracy for the ventilation study of a naturally ventilated broiler house. *JARQ*, 41(1), 53-64.
- Li, C., Wang, X., Wang, Li, N., Wu, C., 2011. Expression analysis of global gene response to chronic heat exposure in broiler chickens (*Gallus gallus*) reveals new reactive genes. *Poultry Science* 90, 1028-1036.
- Lott, B. D., Simmons, J. D., May, J. D., 1998. Air velocity and high temperature effects on broiler performance. *Poultry science* 77(3), 391-393.
- Mazanowski, A., 2011. Modern broiler chicken production. Ed. Pro Agrícola, Gerzwald, 246.

- Medeiros, C. M., 2001. Ajuste de modelos e determinação de Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Master's thesis, Universidade Federal de Viçosa, MINAS GERAIS.
- Medeiros, C. M., da Costa Baêta, F., de Oliveira, R. F. M., Ferreira Tinôco, de F. I., Albino, L. F. T., Cecon, P. R., 2005. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, 13(4), 277-286.
- Menegali, I., Ferreira Tinôco, de F. I., Gates R. S., da Costa Baêta, F., da Cunha Siqueira, Carvalho, C., 2008. Effect of Two Different Minimum Ventilation Systems on the Thermal Comfort and Productive Performance of Broiler Chickens in Winter Conditions. St. Joseph, MI. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Moraes, S., 2002. Caracterização de sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa.
- Mostafa, E., Lee, I.-B., Song, S. H., Kwon, K.S., Seo, I. H., Hong, S. W., Hwang, H. S., Bitog, J. P., Han, H.T., 2012. Computational fluid dynamics simulation of air temperature distribution inside broiler building fitted with duct ventilation system. *Biosystems Engineering* 112(4), 293-303.
- Norton, T. R., Grant, J. F., Sun, D. W., 2010. A computational fluid dynamics study of air mixing in a naturally ventilated livestock building with different porous eave opening conditions. *Biosystems Engineering* 106, 125-137.
- Olanrewaju, H. A., Purswell, J. L., Collier, S. D., Branton, S. L., 2010. Effect of ambient temperature and light intensity on physiological reactions of heavy broiler chickens. *Poultry Science* 89, 2668-2677.
- Oliveira, R. F. M., Donzele, J. L., Abreu, M. L. T., Ferreira, R. A., Vaz, R. G. M. V., Cella, P. S., 2006. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa- MG. 35(3), 797-803.
- Olsen, W. J., 2012. Improving commercial broiler attic inlet ventilation through data acquisition coupled with cfd analysis. Master's thesis, Mississippi State University.
- Osorio Saraz, J. A., Martins, M. A., Marín, O. L. Z., Damasceno, F. A., Velasquez, H. J. C., 2012. Una revisión acerca de la dinámica de fluidos computacionales (CFD) en instalaciones avícolas. *Dyna* 175, 142-149.
- Osorio Hernández, R., Ferreira Tinôco, I. de F., Osorio Saraz, J. A., Oliveira Rocha, K. S., Guerra García, L. M. 2013. Modelamiento del Ambiente Térmico y Aéreo de un Galpón de Presión Negativa Tipo Túnel para Pollitos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 66, 2.
- Oviedo-Rondón, E. O., 2014. Efecto de la temperatura y de la velocidad del aire en naves de pollos. *PV ALBEITAR* 29, 109-1111.
- Passini, R., de Araújo, M. A. G., Yasuda, V. M., Almeida, E. A., 2013. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre Índices de conforto para aves de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(3), 333-338.
- Ponciano, P.F., Yanagi, J. T., Schiassi, L., Campos, A.T., Nascimento, J.W.B., 2012. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal 32(3), 446-458.
- Purswell, J. L., Dozier III, W. A., Jeremiah, D. D., Olanrewaju, H. A., Xin, H., Gates, R. S., 2012. Effect of Temperature-Humidity Index on Live Performance in Broiler Chickens Grown From 49 to 63 Days of Age. *AKNOWETH Conference Presentation*.
- Schiassi, L., Tadayuki, Y. J., Ferreira, L., Damasceno, F. A., Monteiro Yanagi, S. de N., 2008. Fuzzy methodology to evaluate the increase in temperature body in broilers. *Engenharia na agricultura*, Viçosa, MG, 16 (2), 180-191 ABR/Jun

- Schmidt, C. J., Persia, M. E., Feierstein, E., Kingham, B., Saylor, W. W., 2009. Comparación de una línea de pollos de engorde moderna y una línea de herencia no seleccionada desde 1950. *Avicultura Científica* 88 (12), 2610-2619.
- Seo, I. H., Lee, I. B., Moon, O. K., Kim, H.T., Hwang, H. S., Hong, S. W., Bitog, J., Yoo, J. I., Kwon, K. S., Kim, Y. H. and Han, J. W., 2009. Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulations. *Biosystems Engineering*, 104(1), 106-117.
- Seedorf, J., Hartung, J., Schröder, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Wathes, C. M., 1998. Temperature and Moisture Conditions in Livestock Buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng Res.* 70, 49-57.
- Simmons, J. D., Lott, B.D., May, J.D., 1997. Heat loss from broiler chickens subjected to various air speeds and ambient temperatures. *Appl. Engineer. Agricult.* 13: 665-669.
- Simmons, J. D., Lott, B. D., Miles, D. M., 2003. The effects of high-air velocity on broiler performance. *Poultry science* 82(2), 232-234.
- Tao, X., Xin, H., 2003. Temperature-Humidity-Velocity Index for Market-size Broilers. *ASAE*.
- Xin, H., Berry, I. L., Tabler, G.T., Barton, T.L., 1994. Temperature and humidity profiles of broiler houses experimental with conventional and tunnel ventilation systems applied *Engineering in Agriculture* 10 (4), 535-542.
- Yahav, S., Hurwitz, S., 1996. Induction of Thermotolerance in Male Broiler Chickens by Temperature Conditioning at an Early Age. *Poultry Science* 75, 402-406
- Yahav, S., Luger, D., Cahaner, A., Dotan, M., Rusal, M., Hurwitz, S., 1998. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. *British Poultry Science* 39,133-138.
- Yahav, S., Straschnow, A., Vax, E., Razpakovski, V., Shinder, D., 2001. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. *Poultry science* 80(6), 724-726.

PA09 - Evaluación de alternativas en la distribución de las ventanas para mejorar las condiciones de confort de los pollos de carne

Guerra-Galdo, E.H.¹; Calvet Sanz, S.¹; Estellés Barber, F.¹; López Jiménez, A.²

¹Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España; correos electrónicos: ehgg.-@hotmail.com (G.G.); salcalsa@upvnet.upv.es (S.C.); feresbar@upvnet.upv.es (F.E.)

²Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España; correo electrónico: palopez@upv.es

Resumen

El objetivo es mejorar el ambiente interno de las naves avícolas y la distribución del flujo de aire en condiciones de verano. Se diseñaron tres naves avícolas con sistemas de ventilación diferentes: una tipo túnel y dos con ventiladores en el centro de la nave, diferenciadas entre sí en el tamaño y distribución de las ventanas. Las tres naves tenían la misma geometría excepto por la distribución de ventanas y ventiladores. Se utilizó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para comparar la temperatura y velocidad de aire a la altura del animal en cada uno de los tres diseños, en distintas condiciones de ventilación y depresión. Se analizó el funcionamiento de la ventilación con pollos de peso vivo 2,5 kg.

Para estos animales se establecieron como parámetros de confort la distribución de temperatura 22°C, de velocidad de viento 2 m.s⁻¹ y el índice de temperatura y velocidad (ITV) 25°C. Para la realización de los cálculos y modelización CFD, la producción de calor sensible de los animales se estimó en 101,94 W.m⁻².

La nave 3 con ventiladores en el centro de la nave y ventanas más largas mostró mejores parámetros de confort y distribución de velocidad: 0,89 ± 0,30 m.s⁻¹ y temperatura 23,37 ± 0,79°C, presentando menor ITV la nave túnel 23,24 ± 1,87°C, superando a la nave 2. Se observó que la temperatura del flujo de aire en el interior de las naves es influenciada por el flujo de calor que producen las aves. La distribución de ventiladores y ventanas condicionó el trayecto de los flujos de aire y por tanto el incremento de temperaturas. Finalmente, los valores promedio de velocidad y temperatura del aire en las tres naves a 0,20 m de altura fueron semejantes a los indicados en la bibliografía.

Palabras clave: Dinámica de Fluidos Computacional, sistemas de ventilación, velocidad, temperatura.

Evaluation of Alternatives in the Distribution of Windows to Improve the Comfort of Broilers

Abstract

This study aimed to improve the indoor environment of poultry houses and air flow distribution in summer conditions. Three poultry buildings with different ventilation systems were designed: one tunnel-ventilated building and two types with fans in the center of the building and differenced between them in the size and distribution of windows.

The three poultry buildings had the same geometry except for the distribution of windows and fans. Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to compare the temperature and velocity of air at the height of the animals in each of the three designs. Simulations were conducted in different ventilation conditions and differential pressure. The ventilation systems were analyzed considering broilers of 2.5 kg live weight. For these animals comfort parameters were established: temperature 22 °C, wind speed 2 m.s⁻¹ and the index of temperature and velocity (ITV) 25°C. To perform CFD calculations and modeling, sensible heat production of the animals was estimated in 101.94 W.m⁻².

The poultry building number 3, which had fans in the center and longer windows, showed better comfort parameters and velocity distribution (wind speed $0.89 \pm 0.30 \text{ m.s}^{-1}$ and $23.37 \pm 0.79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature) and lower ITV with tunnel type $23.24 \pm 1.87 \text{ }^{\circ}\text{C}$, overcoming poultry building with shorter windows. It was observed that the air temperature inside the poultry house was influenced by the heat flux produced by broilers. The distribution of windows and fans conditioned the air flows and thus the temperature increase. Finally, the average values of air speed and temperature in the three poultry building at 0.20 m height were similar to those reported in the literature.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, ventilation systems, velocity, temperature

1. Introducción

El confort interior es crucial para el desarrollo de los animales y el uso de técnicas de análisis de fluidos puede ayudar mucho en las fases iniciales del diseño de las explotaciones ganaderas. En este trabajo, diferentes simulaciones realizadas con la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) se utilizan para evaluar el comportamiento de variables climáticas como la ventilación, transferencia de masa y calor, climatización, reacciones químicas, dispersión y transferencia de contaminantes internos y externos en el interior de estructuras vegetales y animales (Bjerg *et al.*, 2013).

En el sector pecuario se utilizó el CFD para analizar la distribución de la velocidad del aire y la intensidad de la turbulencia (Bustamante *et al.*, 2013; Osorio *et al.*, 2012; Blanes-Vidal *et al.*, 2008). Las transferencias de calor y masa convectivos se utilizan para evaluar los procesos de cambio en las estructuras de ventilación de las superficies interiores. (Norton *et al.*, 2010; Seo *et al.*, 2009) y determinar la dispersión de contaminantes internos y externos como el dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (Mostafa *et al.*, 2012; Bjerg *et al.*, 2013) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC).

En las épocas de verano, en la mayoría de las instalaciones avícolas, el aire interior está condicionado, por sistemas de ventilación mecánica por consiguiente requiere el control de factores ambientales (temperatura, humedad, radiación y velocidad de aire), factores físicos (espacio, luz, sonido y presión) y factores sociales (número de aves por granja), de las condiciones climáticas del local y de la posición económica de la granja (Yahav *et al.*, 1998).

La ventilación en el interior de las naves avícolas influye en la calidad de aire con el aporte de oxígeno, eliminación de partículas y gases tóxicos tales como el dióxido de carbono, amoníaco, manteniendo una temperatura óptima y humedad relativa, permitiendo una distribución homogénea de estos factores por toda la nave evitando diferencias térmicas, proliferación de microorganismos en la yacija, áreas sin corriente de aire, etc. (Febrer *et al.*, 2006).

Según Osorio *et al.* (2012), la uniformidad de la velocidad del aire en la zona ocupada por las aves se modifica, porque la presencia de animales en la granja influencia en el ambiente térmico de la nave, en la trayectoria del flujo del aire, la sanidad y desarrollo productivo del ave, si la velocidad del viento de afuera es baja o si las aberturas de la ventilación son pequeñas (Bjerg *et al.*, 2013). Según Atilgan *et al.* (2006), la mayor densidad disminuye el flujo de aire a nivel del ave y estos resultados reducen la disipación de calor del calor corporal al aire, reduce la calidad del aire debido al inadecuado intercambio de aire, e incremento de amoníaco, y reduce el acceso al agua y alimento.

La temperatura interior debe mantenerse entre límites muy estrictos para el normal funcionamiento de las actividades fisiológicas de las aves siendo más susceptibles los machos que las hembras a los cambios de temperatura, considerando Olanrewaju *et al.* (2010) en pollos adultos la zona termoneutra de 18 y 24°C.

En el presente trabajo para conocer los efectos de la temperatura y velocidad en el confort del ave, se adaptó la fórmula propuesta por Tao y Xin (2003) considerando 100% de humedad relativa, se consideró un índice de temperatura y velocidad-ITV óptimo de 25°C y se calculó que las aves con ITV mayor a 30,11°C pueden sobrevivir por 24 horas, con ITV de 32,56°C y 35,5°C, las aves pueden sobrevivir por 6 horas y 1 hora.

$$ITV = t_{db} * V^{-0.058} \quad (1)$$

Donde t_{db} es la temperatura de bulbo seco °C, V es la velocidad $m.s^{-1}$, definida en la expresión (1).

El manejo del ambiente dentro de la nave es importante y el objetivo del trabajo es utilizar una metodología de análisis para caracterizar el confort en naves avícolas utilizando tres simulaciones CFD con diferentes diseños de naves avícolas con diferentes ubicaciones de ventana, ventiladas mecánicamente con diferentes condiciones de contorno de velocidad y temperatura.

2. Metodología Herramienta de análisis: CFD Star-Ccm

Para realizar la simulación que aquí se describe, se utilizó como principal herramienta el programa de Dinámica de Fluido Computacional (CFD) StarCCM por CD-Adapco (versión 9.004.009), que analiza los flujos de fluido usando algoritmos numéricos, puede calcular simulaciones complejas de flujos turbulentos, distribuciones térmicas, velocidad del aire, difusión de contaminantes, convección alrededor de los edificios. También se utilizó el Statgraphics Plus para los cálculos estadísticos. Todos los cálculos se realizaron con una simple PC con un procesador de 2,4 GHz, memoria RAM de 8 GB.

2.1 Configuraciones del Estudio

La ventilación de las naves avícolas se realiza con las ventanas abiertas con ventilación mecánica tipo túnel. La dirección del flujo de aire y la intensidad en la zona ocupada por el animal influye directamente en la temperatura efectiva de la nave y el flujo del aire. La geometría de las naves se realizó con el CAD del software StarCCM (versión 9.004.009) tienen medidas de 7,5 m de ancho, 120 m de largo y 3 m de altura con cubierta plana, diferenciándose el diseño de las naves en la distribución de las ventanas y la ubicación de los cuatro ventiladores de 1,40 m de diámetro y un único ventilador de 1,10 m de diámetro que extraen el aire del interior de la nave hacia el exterior de local.

2.2 Condiciones de contorno

El movimiento de una fase continua es descrito en términos de las ecuaciones promedio de conservación de la masa y el momentum conocidas como Reynolds Average Navier Stokes (RANS). Se utiliza el modelo flujo segregado, gravedad, modelo de turbulencia K-Epsilon para representar la turbulencia, para predecir la velocidad del flujo de aire y la

distribución de temperaturas en la nave, que evalúa la viscosidad a partir de una relación entre la energía cinética turbulenta (k) y la disipación de energía cinética turbulenta (ϵ). Todo el dominio se define como una única región de fluido (aire). Un plano de simetría se define como condición de contorno (la parte lateral sin ventanas), entrada de flujo de aire por las ventanas con temperatura exterior de $21,5^{\circ}\text{C}$, salida de flujo de aire por los ventiladores grandes con velocidad de $-6,87 \text{ m.s}^{-1}$ y por el ventilador pequeño con velocidad de $-3,92 \text{ m.s}^{-1}$, además se consideró en el suelo el flujo de calor sensible de los pollos de $101,94 \text{ W.m}^{-2}$, los coeficientes de transmitancia térmica de la cubierta ($0,58 \text{ W.m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{K}$), de las paredes ($0,81 \text{ W.m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{K}$), con estas consideraciones, se calcula la temperatura de la nave a una altura de $0,20 \text{ m}$, considerando todos los efectos térmicos y de dinámica de fluidos, dependiendo de la distribución de las ventanas por donde ingresa el aire exterior alrededor del edificio y teniendo en cuenta todos los efectos aerodinámicos: el diseño de las ventanas, las fuerzas de fricción, los flujos de viento impulsado, la gravedad, la velocidad y la temperatura se resuelven entre otras magnitudes

3. Resultados y post-procesamiento

3.1 Sensibilidad de la Malla

Realizando el cálculo con varios tamaños de malla, desde $0,9 \text{ m}$ hasta $0,1 \text{ m}$ obtenemos un volumen de control de 22413 y para la malla fina de 890363 de volumen de control. La independencia, tiene una variación relativa inferior al $15,33\%$ en la velocidad, esto se ha obtenido usando el tamaño de malla de $0,4 \text{ m}$ con 102150 de volumen de control. En el gráfico 1 se observa la independencia de malla con respecto a los resultados de la velocidad a la altura de $0,20 \text{ m}$ del suelo. El criterio de convergencia fue el valor del error cuadrático medio (RMS) de la solución menor de 10^{-4} para las ecuaciones de conservación de momento, energía y de continuidad.

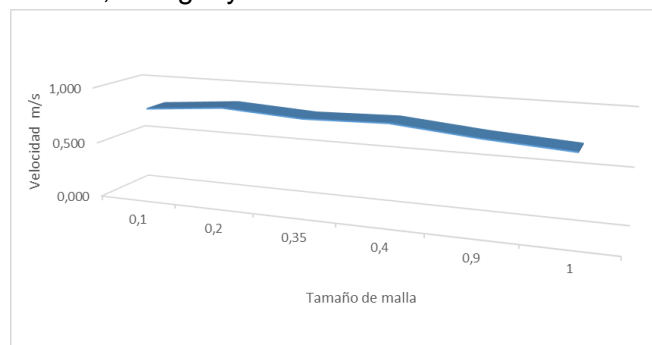


Figura 1. Sensibilidad del tamaño de malla con respecto a la velocidad

Tres casos de naves avícolas con sistemas de ventilación mecánica por depresión se comparan a la altura del pollo para cuantificar el confort de velocidad y temperatura y el índice de temperatura y velocidad. La geometría en la nave 1 tipo túnel con los ventiladores en el lado frontal de la pared y entrada de flujo de aire por las ventanas de forma natural; la nave 2 y 3 de tipo convencional con ventiladores en las paredes laterales y diferenciándose entre sí en la distribución y tamaño de las ventanas. Para considerar la ventilación natural se define un volumen de control de aire que ocupa todo el espacio interior de la nave. Este volumen de control es especialmente elegido para determinar el efecto de la temperatura del flujo de aire en el interior de la misma. Sin

embargo, el modelo se compone de más elementos para simular correctamente la entrada de aire por las ventanas laterales.

3.2 Velocidad

La ventilación tipo túnel es el sistema más eficaz en el caso de climas cálidos y húmedos por el flujo turbulento y la sensibilidad de la energía que es importante en la dirección lateral formando un túnel de flujo de alta velocidad que atraviesa la nave y ayuda a las aves a refrescarse con una mayor pérdida de calor sensible. En la nave 1 la mayor velocidad se encuentra a menor distancia de los ventiladores. Las paredes tienden a desviar el flujo del aire desde la pared lateral hacia el centro de la nave, resultando velocidades más altas hacia el centro de la nave y velocidades más bajas cerca de las paredes laterales. Por lo tanto una nueva condición de contorno está configurado para simular la ventilación a la altura de los pollos teniendo una velocidad promedio de $1,54 \pm 0,74 \text{ m.s}^{-1}$ (figura 2); Según Simmons *et al.* (1994), la velocidad de aire normal es de $2,03 \text{ m.s}^{-1}$ y la perdida de calor total se mantiene relativamente constante a medida que la temperatura incrementa.

En la nave tipo túnel se tuvo un 49,95% de área con velocidades de aire entre $0,5$ y $2,0 \text{ m.s}^{-1}$, los flujos de aire menores de $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ se considera bajo y flujos de aire mayores a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ implican una mayor pérdida de calor sensible de las aves, mientras que el 50,05% de área tiene velocidades de aire mayor a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$ a medida que está más cerca de los ventiladores.

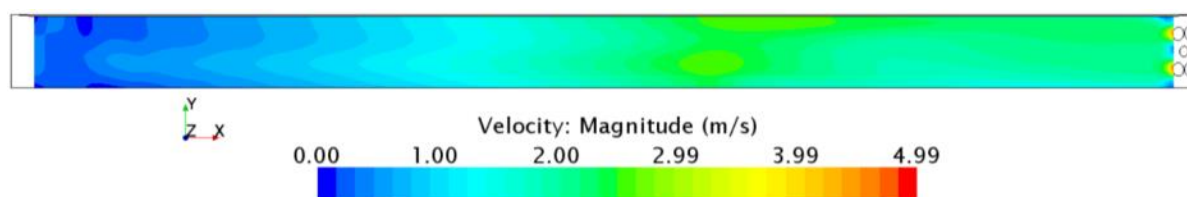


Figura 2. Configuración 1 tipo túnel velocidad a 0,20 m del suelo

La ventilación mecánica convencional tiende a producir a nivel animal corrientes de aire frío cerca de la ventana (Xin *et al.* 1994) produciéndose la fuerza de velocidad en el funcionamiento de los ventiladores que están en el centro de los lados laterales. La ventilación a la altura de los pollos en la nave 2 (figura 3) y 3 (figura 4) tiene una velocidad promedio de $0,83 \pm 0,32$ y $0,89 \pm 0,30 \text{ m.s}^{-1}$ respectivamente, también se observó mayor porcentaje de área 80,05% y 88,45% dentro de los parámetros establecidos entre $0,5$ y $2,0 \text{ m.s}^{-1}$, presentando mayor área la nave 3 entre velocidades de $0,5$ y $2,0 \text{ m.s}^{-1}$. Según Blanes-Vidal *et al.* (2008), la velocidad del aire a la altura de las aves es $0,36 \pm 0,14 \text{ m.s}^{-1}$, $0,54 \pm 0,22 \text{ m.s}^{-1}$ obtenidos a partir de las simulaciones CFD y $0,33 \pm 0,13 \text{ m.s}^{-1}$ desde el ajuste de los resultados de la simulación CFD. Nuestros valores encontrados están dentro del rango propuesto por Bustamante *et al.* (2013) mencionando velocidades de aire entre CFD $0,60 \pm 0,56 \text{ m.s}^{-1}$ y por mediciones directas $0,64 \pm 0,54 \text{ m.s}^{-1}$ en naves con ventilación cruzada.

Blanes-Vidal *et al.* (2007), observaron que, la velocidad del aire a nivel de los animales fue significativamente mayor en la línea de centro de la construcción ($1,31 \text{ m.s}^{-1}$) que en los puntos localizados desde 1,5 m desde la pared ($0,32 \text{ m.s}^{-1}$).

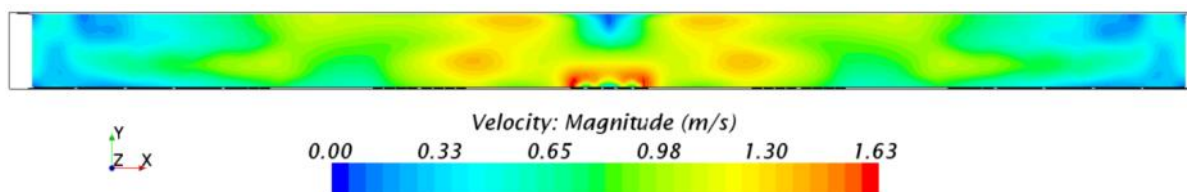


Figura 3. Configuración 2 velocidad a 0,20 m del suelo

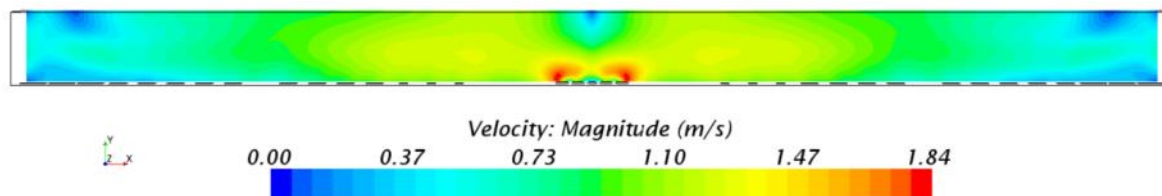


Figura 4. Configuración 3 velocidad a 0,20 m del suelo

3.3 Temperatura

La temperatura promedio a la altura de los animales en la nave 1 tipo túnel (Figura 5) es de $23,55 \pm 1,01^{\circ}\text{C}$. En este caso, se tiene un área de 91,37% de confort con temperaturas que se encuentran entre 18 y 25°C , los valores menores de 18°C se considera pérdida de calor sensible y temperaturas mayores a 25°C implica una pérdida de calor latente. Los resultados coinciden con Xin *et al.* (1994) observando en la nave tipo túnel una distribución de temperatura transversal simétrica, con el centro ligeramente ($1,8^{\circ}\text{C}$ o $3,2^{\circ}\text{F}$) más caliente que los lados, las paredes laterales son ventiladas menos eficientemente que el resto de la nave dando a lo largo del volumen de la nave temperaturas calientes. El aire, a medida que viaja a lo largo de la nave es más caliente en el extremo de la salida que en el extremo de entrada debido a la adición de calor sensible de las aves al aire considerando que un ave adulta de 2,5 kg produce 21,11 W. Según Simmons *et al.* (1994), en aves de quinta semana de edad con temperatura ambiental de 29°C y velocidad de aire que incrementa desde 1,01 a $3,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la pérdida de calor sensible se incrementa desde 1,19 a $2,09 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ y a la sexta semana de edad 1,30 a $2,33 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. La pérdida de calor latente disminuye desde 2,89 a $2,09 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ y 2,59 a $2,30 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los dos grupos de edad respectivos. Según Egüez *et al.* (2007), el funcionamiento del túnel es eficiente siempre y cuando la temperatura ambiental no supere los 32°C porque a esta temperatura empieza a tener el efecto contrario llenando de calor la nave.

En la nave 2 tipo convencional (figura 6) la temperatura es reducida por la temperatura de aire inicial y la velocidad, por la diferencia de presión que fuerza el aire que fluya a través de la ventana, a 0,20 m del suelo tiene temperatura promedio de $23,45 \pm 0,82^{\circ}\text{C}$ y 93,03% de área en confort, concentrándose la mayor cantidad de aire caliente en el centro. En cambio la nave 3 tipo convencional (figura 7) a la altura del ave, las entradas de aire por ventanas distribuidas con mayor distanciamiento reducen los efectos desfavorables de los vientos fuertes y asegura que el aire tenga un movimiento y distribución uniforme, estable y predecible (Marrufo *et al.*, 1999), observándose a 0,20 m del suelo temperatura promedio de $23,37 \pm 0,79^{\circ}\text{C}$, promedio menor que la configuración tipo túnel y la nave 2 tipo convencional, tiene 94,52% de área en confort entre temperaturas de 18 y 25°C ; presentando la configuración tipo túnel una zona de 8,63% de área en descomfort en comparación con las naves convencionales, observándose mayor distribución homogénea del flujo de aire caliente en el centro de la

nave. Nuestro promedio de temperatura es similar a Mostafa *et al.* (2012) presentando la temperatura promedio del aire en la zona del ave de 23,86°C, y también parecidos a los resultados encontrados por Blanes-Vidal *et al.* (2010) temperatura de 23,6°C y 26,3°C a nivel del animal. Xin *et al.* (1994), encontraron a nivel del ave temperatura media de 29,3°C. Según Baeta e Souza (1997) un ambiente es considerado confortable para producción de pollos de engorde en la fase adulta cuando presenta temperaturas entre 15 a 26°C.

En las figuras a continuación, se puede observar la diferencia de flujos de aire en ambas naves a una altura de 0,20 m, a medida que el flujo de aire aumenta en las zonas más cercanas a los ventiladores, la variación de temperatura en el interior de la nave se está perdiendo progresivamente donde la ventilación por depresión tiene efecto térmico para esas condiciones de contorno, se observa mayor expansión térmica en áreas donde las paredes no tienen ventanas y donde se ubican los ventiladores, dependiendo de la temperatura del aire y del caudal de ventilación a lo largo de la nave. Esta variación, produce valores promedios de temperatura corporal y nivel de hiperventilación diferentes entre los pollos ubicados en diferentes puntos de la nave. Según Blanes-Vidal *et al.* (2010), la temperatura del aire a nivel de las aves, cerrado por la salidas fue 2°C mayor que cerradas por las entradas. Ambas temperaturas fueron mayores que la temperatura del aire recomendada para pollos de 7 semanas de edad.

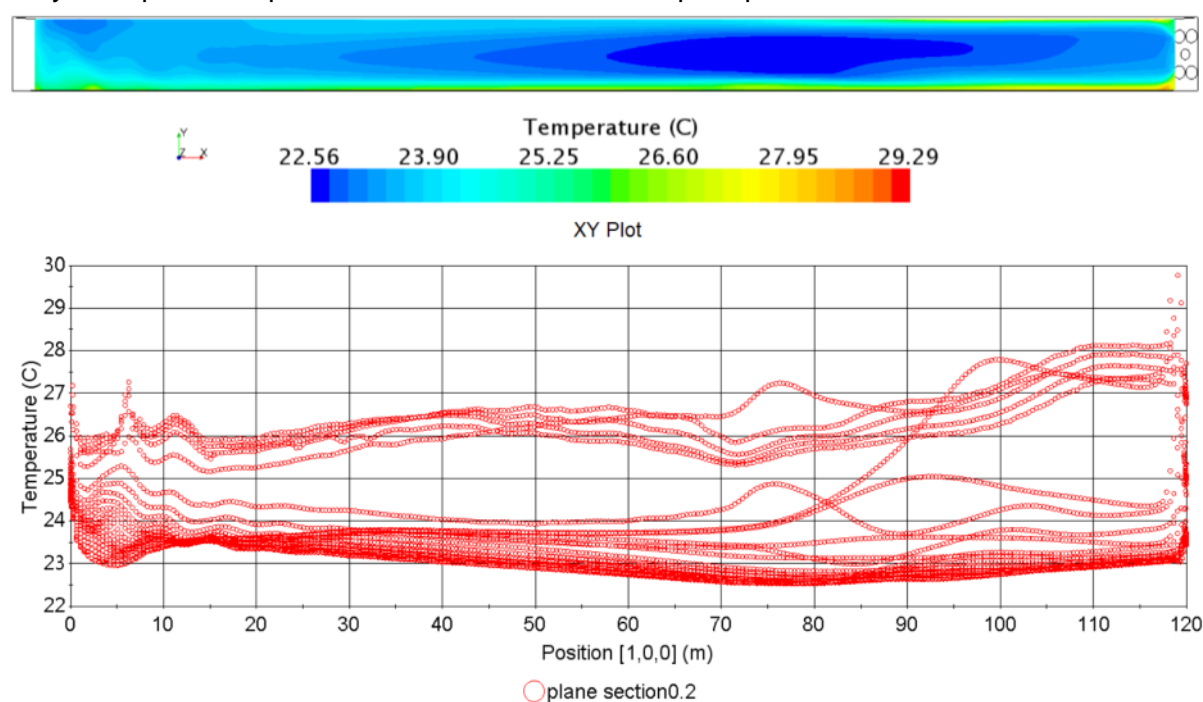


Figura 5. Temperatura a 0,20 m del suelo túnel

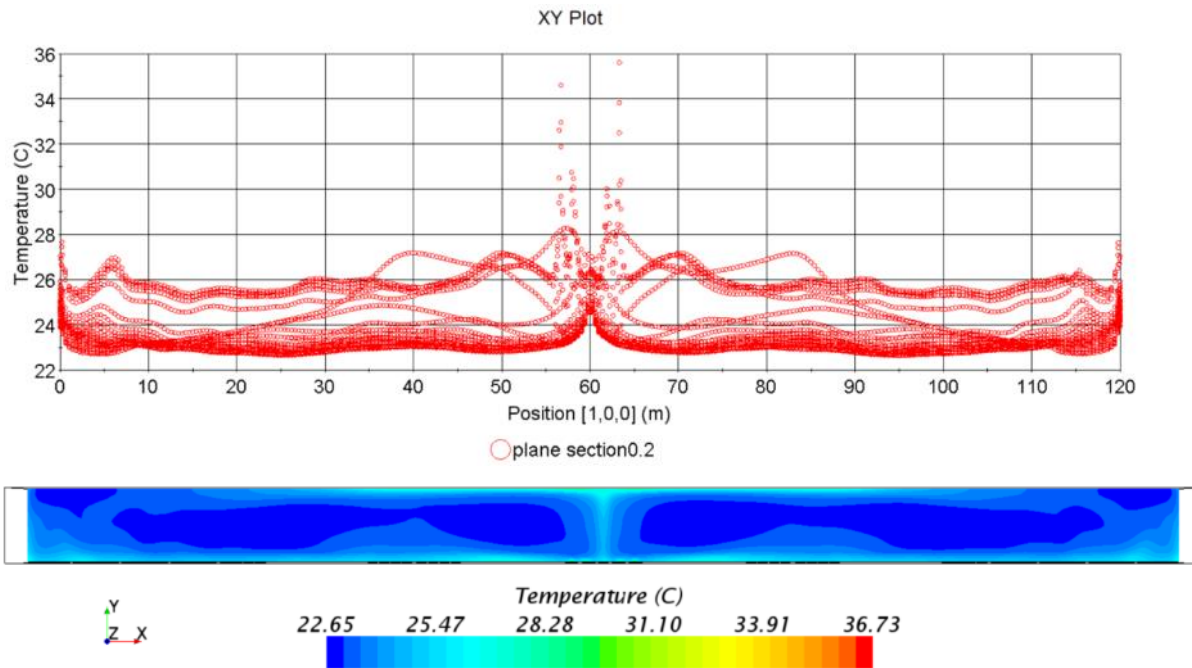


Figura 6. Temperatura a 0,20 m del suelo nave 2

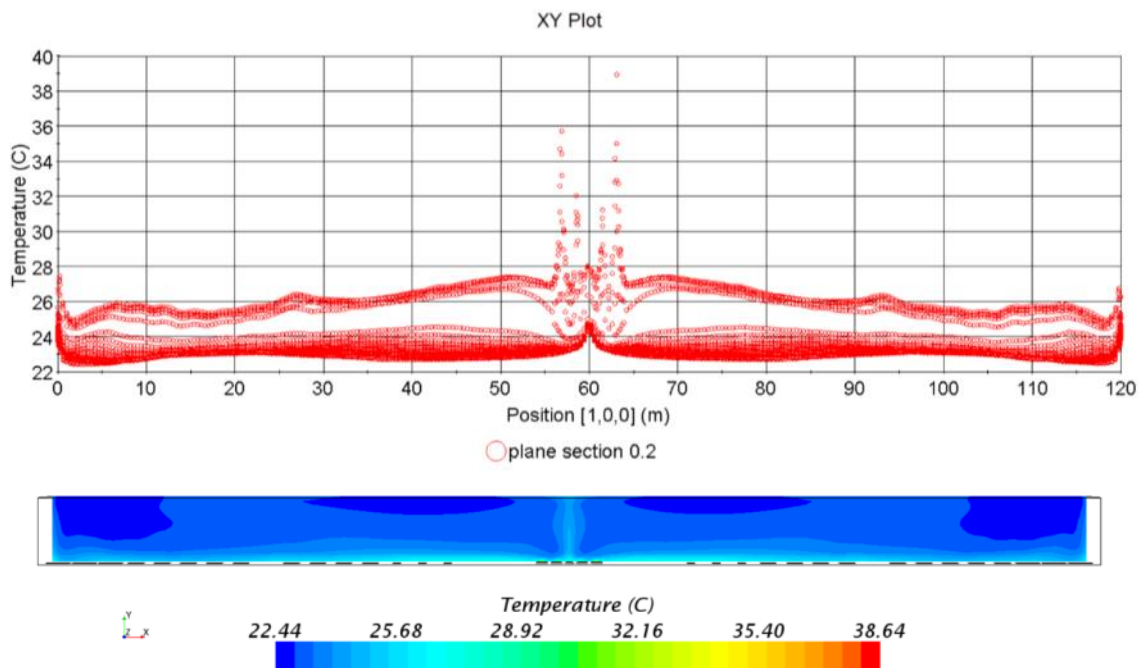


Figura 7. Temperatura a 0,20 m del suelo nave 3

3.4 Índice de Temperatura y Velocidad – ITV

El ITV promedio a 0,20 m del suelo en la nave 1 tipo túnel (figura 8) es $23,24 \pm 1,87^{\circ}\text{C}$, observándose mayor temperatura en la parte inicial de la nave por baja velocidad del flujo de aire e intercambio de calor sensible. El flujo de aire exterior ($21,5^{\circ}\text{C}$) reduce el incremento de temperatura interior de la nave lo cual depende de la ubicación de los ventiladores. Observándose en la nave 2 (figura 9) el ITV promedio de $23,85 \pm 1,68^{\circ}\text{C}$ con mayor temperatura en el centro de la nave a nivel de los ventiladores que concentra el volumen de aire caliente que fluye por toda la nave. En la nave 3 (figura 10) el ITV promedio es $23,64 \pm 0,98^{\circ}\text{C}$ teniendo la temperatura del aire menos caliente en el centro

de la nave que la nave 2; las condiciones de contorno varían según la distribución de las ventanas y ventiladores. Obteniéndose con la nave 3 mayor área de confort de ITV (90,35%) por debajo de 25 °C.

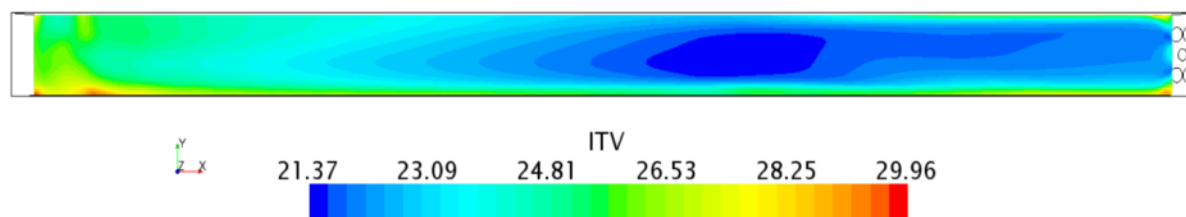


Figura 8. ITV nave tipo túnel

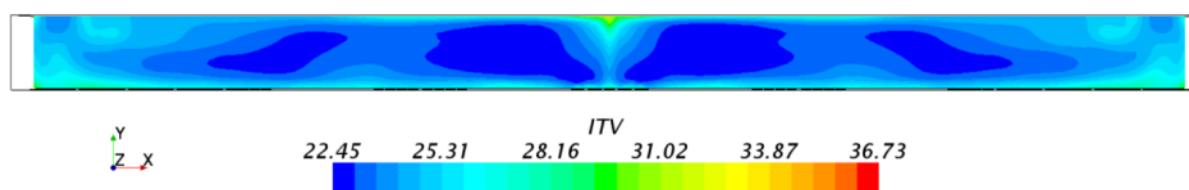


Figura 9. ITV nave 2

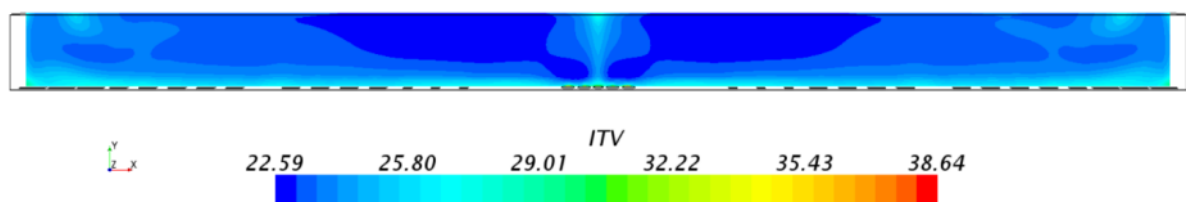


Figura 10. ITV nave 3

Se analizó ITV mayor a 30,11°C, el extremo de incremento térmico que podría tolerar las aves por 24 horas, encontrándose que la nave 2 tipo convencional en el centro de la nave a la altura de los ventiladores y esquinas de la nave suma un área de 1,58 m² afectando aproximadamente a 22 aves, con ITV de 32,56°C y 35,5°C no se encontraron efectos significativos. Según Tao y Xin (2003), cuando los pollos se encuentran a temperatura de 35°C y un 80% de HR, puede ser un estrés por calor en “estado de alerta” en 10, 45, 90 y 120 min, si la velocidad del aire es 0,1, 0,5, 1,0 and 1,2 m.s⁻¹, respectivamente. En situación de alerta es definido cuando la temperatura corporal sube de 1°C. Cuando la velocidad del aire alrededor de las aves es de 0,1 m.s⁻¹ un “estado de emergencia” (temperatura corporal sube 4°C esto alcanzado en 90 minutos y 180 min si la velocidad del aire es 1 m.s⁻¹).

4. Conclusiones

Determinar en instalaciones avícolas el confort del ave es complejo. Con la ayuda del uso de la modelación computacional de dinámica de fluidos se propone en el presente trabajo una metodología para cuantificar los parámetros y diseñar naves con las características adecuadas, para lograr el bienestar animal. En este caso particular, se analizan tres distribuciones de ventiladores en un volumen similar de nave. Estas tres simulaciones simples son útiles para investigar el comportamiento del trayecto del flujo de aire y la temperatura con diferente distribución de ventanas y ventiladores y su efecto en los parámetros de confort y comparar la bondad de diseño de las mismas. Se ha

analizado un sistema que tiene como objetivo mejorar el flujo de aire natural ventilado por depresión de una manera forzada, para mejorar la crianza en pollos de 6 semanas con 2,5 kg. Los resultados de los tres casos de estudio se comparan para determinar el efecto de la temperatura, velocidad e ITV, parámetro que aglutina ambas variables. De este análisis particular se derivan las siguientes conclusiones:

El CFD muestra el cálculo de los modelos turbulentos pueden predecir satisfactoriamente el flujo de aire y los campos de temperatura, que pueden ser usados para diferentes propósitos prácticos.

La nave 3 tipo convencional con ventiladores en el centro de la nave y ventanas más largas mostró mejores parámetros de confort a 0,20 m con mayor área de confort de velocidad 88,45% y velocidad promedio de $0,89 \pm 0,30 \text{ m.s}^{-1}$, temperatura promedio de $23,37 \pm 0,79^{\circ}\text{C}$ con mayor área de confort de 94,52%, el ITV es menor con la nave tipo túnel con promedio de $23,24 \pm 1,87^{\circ}\text{C}$ pero el área de confort es mayor con la nave 3 con 90,35%, resultados que superan a la nave 2 con ventanas más cortas y tipo túnel.

Se observó que la temperatura del flujo de aire en el interior de las naves es influenciada por el flujo de calor que producen las aves. Finalmente, los valores promedio de velocidad y temperatura del aire en las tres naves a 0,20 m de altura fueron semejantes a los indicados en la bibliografía. Los análisis a través de la mecánica de fluidos computacional, se muestran así cada día más prometedores para ser integrados en una metodología completa de diseño de naves teniendo en cuenta parámetros de confort de los animales en términos de ventilación.

5. Agradecimientos

Este trabajo es financiado por el Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo del Perú-PRONABEC.

6. Bibliografía

- Atilgan, H. K., 2006. Cultural energy analysis on broilers reared in different capacity poultry houses. *Ital. J. Anim. Sci.* 5, 393-400.
- Baeta, F.C.; Souza, C.F., 1997. Environment in rural buildings - animal comfort. Viçosa, MG: UFV. 246.
- Bjerg, B., Giovanni, C., In-Bok, L., T., Bartzanas, T., Norton, Is-Woon H., Il-Hwan, S., T., Banhazi, P., Liberati, A., Marucci, G., Zhang, 2013. Modelling of ammonia emissions from livestock buildings ventilated naturally. Part 2: CFD modelling. *Biosystems Engineering* 116, 259-275.
- Blanes-Vidal, V., Pebble, B. S., Torres, A. G., 2008. Application of computational fluid dynamics to the prediction of air flow in to mechanically ventilated commercial poultry building. *Biosystems Engineering* 100 (1), 105-116.
- Blanes-Vidal, V., Fitas, V., Torres, A., 2007. Differential pressure as a control parameter for ventilation in poultry houses: effect on air velocity in the zone occupied by animals. *Span J. Agric. Res.* 5 (1), 31-37.
- Blanes-Vidal, E., Guijarro, E., Nadimi, S., Torres, A. G., 2010. Development and field test of an on-line computerized instrumentation system for air velocity, temperature and differential pressure measurements in poultry houses. *Journal of Agricultural Research* 8(3), 570-579.
- Bustamante, E., García-Diego, F.-J., Calvet, S., Estellés, F., Beltrán, P., Hospitaler, A., Torres, A. G., 2013. Exploring Ventilation Efficiency in Poultry Buildings: The

- Validation of Computational Fluid Dynamics (CFD) in a Cross-Mechanically Ventilated Broiler Farm. *Energies* 6(5),2605–2623.
- Egüez, G. R., Jaime, D., Vasconez, D., 2007. Automation of the breeding poultry A-1 of Broilers of Iasa. Quito.
- Febrer, K., Tracey, A. J., Christl, A. D., Stamp, D. M., 2006. Forced to crowd or choosing to cluster? Spatial distribution indicates social attraction in broiler chickens. *Animal Behaviour* 72, 1291-1300.
- Marrufo, V. D., Quintana, J., M. P., Castaneda. S., 1999. Effect of positive pressure ventilation on performance of broilers booths for seven weeks in natural environment. *Vet Mex.* 30 (1).
- Mostafa, E., Lee, I.-B., Song, S.-H., Kwon, K.-S., Seo, I.-H., Hong, S.-W., Hwang, H.-S., Bitog, J. P., Han, H.-T., 2012. Computational fluid dynamics simulation of air temperature distribution inside building broiler fitted with duct ventilation system. *Biosystems Engineering* 112 (4), 293-303.
- Norton, T., R., Grant, J. F., Sun, D.-W., 2010. A computational fluid dynamics study of air mixing in a naturally ventilated livestock building with different porous eave opening conditions. *Biosystems Engineering* 106, 125 - 137.
- Olanrewaju, H. A., Purswell, J.L., Colier, S.D., Branton, S. L., 2010. Effect of ambient temperature and light intensity on physiological reactions of heavy broiler chickens *Poultry Science* 89 (12), 2668-2677.
- Osorio S., J. A., Martins, M. A., Marín, O. L. Z., Damasceno, F. A., Velasquez, H. J. C. A., 2012. Review About the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) in Broiler House. *Dyna* 175, 142-149.
- Seo, I.-H., Lee, I.-B., Moon, O.-K., Kim, H.-T., Hwang, H.-S., Hong, S.W., Bitog, J., Yoo, J.-I., Kwon, K.-S., Kim, Y.-H., Han, J.W., 2009. Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulations. *Biosystems Engineering* 104 (1), 106-117.
- Simmons, J. D., Lott, B. D., May, J. D., 1994. Heat loss from broiler chickens subjected to various air velocities and ambient temperatures. *Applied Engineering in Agriculture* 13 (5), 665-669.
- Tao, X., Xin, H., 2003. Temperature-Humidity -Velocity Index for Market-size Broilers. *Agricultural and Biosystems Engineering* 46 (2), 491-497.
- Xin, H., Berry, I. L., Tabler, G.T., Barton, T.L., 1994. Temperature and humidity profiles of broiler houses experimental with conventional and tunnel ventilation systems *Applied Engineering in Agriculture* 10 (4), 535-542.
- Yahav, S., Luger D., Cahaner A., Dotan M., Rusal M., Hurwitz S., 1998. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. *British Poultry Science* 39,133-138.

SESIÓN VIII: SENSORES Y CONTROL DE PROCESOS

S01 - Compromiso entre coste y frecuencia de trabajo en sensores FDR de bajo coste para la gestión del riego

Vázquez de León, A.¹, Oates, M.¹, Molina Martínez, J.M.², Ruiz Canales, A.¹

¹ Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche, Crtra. de Beniel, km 3,2, 03312 Orihuela (Alicante), profesionalpolifacetico@gmail.com, moates@btinternet.com, acanales@umh.es ² Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº. Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena (Murcia).

Resumen

Para un sistema eficiente de riego localizado es esencial obtener un indicador de la humedad del suelo de una planta o grupo de plantas, con el fin de determinar si es necesario regar, cuándo debe hacerse y qué cantidad de agua se ha de aplicar. Adicionalmente, es muy adecuado que el coste de los sensores de humedad de suelo se minimice tanto como sea posible. Las técnicas basadas en Reflectometría en el Dominio de Frecuencia (FDR) han demostrado ser menos sensibles a los niveles de salinidad que las técnicas basadas en dispositivos Wenner, pero su funcionamiento depende de la frecuencia de oscilación aplicada. La FDR mide la capacitancia eléctrica del suelo y está determinada en gran medida por la constante dieléctrica del material entre las placas de un condensador. Como el agua presenta una constante dieléctrica 80 veces mayor que el aire, la presencia de humedad en suelo varía significativamente la capacitancia. La utilización de altas frecuencias FDR generalmente presenta resoluciones superiores bajo condiciones de suelo seco. Sin embargo, el uso de altas frecuencias a menudo requiere componentes más caros y mayor consumo de energía. En consecuencia se hace necesario buscar un compromiso rendimiento/coste. Se presentan los resultados preliminares de experimentos realizados con un sensor de capacitancia FDR de bajo coste, aplicando cuatro frecuencias diferentes fijas (entre 31 y 250 kHz), una técnica de frecuencia variable, y cinco amplificadores operacionales diferentes. El coste de los amplificadores varía entre 0,04 y 0,7 euros. El consumo eléctrico por amplificador supone entre 0,5 y 8 mA. Se propone un compromiso aceptable con un buen rendimiento, a la vez que se mantiene un bajo coste y un bajo consumo eléctrico. Dado que el coste de este sensor es de menos de 10 euros por cada dos sondas, resulta muy apropiado para grandes instalaciones agronómicas en las que se precise la gestión de un gran número de puntos de control.

Palabras clave: recursos hídricos, dispositivo, Wenner, bulbo húmedo, bajo consumo

Frequency response and cost trade-off for a low-cost FDR capacitance based sensor for soil moisture measurement and irrigation control

Abstract

For cost efficient micro-irrigation systems it is essential to obtain an indication of the soil moisture content for each individual plant / sub-division of the crop so as to be able to determine whether and when localized irrigation is necessary. The cost of each soil moisture sensor must therefore be kept to a minimum. Frequency Domain Reflectometry (FDR) capacitance based techniques have been shown to be less susceptible to soil salinity levels than Wenner based resistivity techniques, but performance is dependent on the frequency of oscillation used. FDR measures the electrical capacitance of the soil and this capacitance is largely determined by the dielectric constant of the material between the capacitor plates. As water has a dielectric constant 80 times greater than air, the presence of moisture in the soil significantly changes the sensor capacitance. The use of higher FDR frequencies generally gives improved resolution under drier soil conditions. However the use of higher frequencies often requires more expensive components and higher current consumption, and thus there is a need to explore this performance / cost trade-off. This paper presents preliminary results from experiments with a low cost, FDR capacitance based sensor, using four different fixed frequencies (ranging from 31KHz to 250KHz), a variable frequency technique, and five different amplifiers. Costs per amplifier range from 0.04 euros to 0.7 euros. Current consumption ranges from 0.5 mA per amplifier to 8 mA. An acceptable

compromise design is proposed giving good performance, at low cost and low current consumption.

As the cost of this sensor system can be less than 5 euros per probe, this makes it highly suitable for large scale agronomic deployment where large numbers of control points need to be managed.

Keywords: water resources, device, Wenner, wet bulb, low consumption

Introducción

Existe un amplio abanico de técnicas para la medida de la humedad del suelo en campo basadas en la electricidad y establecidas ampliamente en los ámbitos de la investigación geofísica (Lehmann *et al.*, 2014, Linck y Fassbinder, 2014) y la agronomía (Baghdadi *et al.*, 2014, Fatas *et al.*, 2014). Éstas incluyen métodos basados en la resistividad, como el método Wenner (Gemail, K.S., 2015, Jiao-Jun *et al.*, 2014) y el de Schlumberger (Gemail, K.S., 2015, Mosuro *et al.*, 2012), además de los métodos capacitivos como el del reflectrómetro del dominio de frecuencia *Frequency Domain Reflectometry* (FDR) (Madramootoo, 2013 y Al-Asadi y Mouazen, 2014) y reflectrometría del dominio en el tiempo *Time Domain Reflectometry* (TDR) (Janik *et al.*, 2014) así como las técnicas basadas en la radiación como la sonda de neutrones (Bell, 1973, Kodikara *et al.*, 2014). Aunque en el pasado se han implementado sensores de bajo coste basados en la resistividad (Igboama, 2011), los dispositivos comerciales (por ejemplo el Landviser Landmapper) son caros (oscilan entre 500 y 1.600 dólares), carecen de capacidad para integrar captura de datos o simplemente son inviables.

Experimentos previos (Oates *et al.*, 2014) establecieron el punto de partida potencial del diseño de un sensor de bajo coste basado en la resistividad del terreno según el método de Wenner. Se obtuvieron resultados con una alta correlación (> 95%) comparando con una sonda comercial Hydra Probe II® (Stevens). Adicionalmente, los mismos autores (Oates *et al.*, 2015) obtuvieron y publicaron una fórmula de compensación simple de los cambios producidos por la temperatura del suelo. En este caso, el método de Wenner se usó como indicador de la humedad del suelo. Sin embargo, la técnica basada en la resistividad del terreno es vulnerable a una variedad de condiciones diferentes del suelo como composición (Kibria and Hossain 2014, Hanson y Peters, 2000), textura (Nadler, 1991, Hadzick *et al.*, 2011), variaciones del pH (Ishada y Makino, 1999, Islami *et al.*, 2012), salinidad (Austin y Rhoades, 1979, Read y Cameron, 1979, Velstra *et al.*, 2011) y temperatura (Afa y Anaele, 2010, Everwand *et al.*, 2014; Newill *et al.*, 2014). Para el caso de la técnica FDR, la humedad del suelo depende de la constante dieléctrica del mismo (específicamente, de su capacitancia eléctrica) más que de su conductividad (el inverso de la resistividad) y es teóricamente menos vulnerable a la salinidad. El principio de funcionamiento de una sonda de capacitancia FDR depende del hecho que la constante dieléctrica entre el agua y el aire difieren en un factor de 80. Por tanto, la presencia de agua en el suelo entre las placas de una sonda FDR produce un cambio altamente significativo en su capacitancia. Cuanta más alta es la concentración de agua, más alta es la capacitancia. De este modo, esta capacitancia puede ser medida por medios eléctricos. Al aislar eléctricamente las sondas no hay flujo de corriente directa en el suelo y el efecto conductivo de las sales del suelo se minimiza.

Se muestran en esta comunicación diversos diseños de sensores FDR de bajo coste para indagar en esta técnica. Posteriormente se establecen las diferencias de cada uno

de ellos mediante un ensayo de campo para su empleo en la determinación de la humedad del suelo. Por último se describen los costes más importantes en las diferentes alternativas presentadas.

Material y Métodos

Se emplearon dos métodos eléctricos para determinar la capacitancia efectiva de la sonda (ver Fig 1). El primero consistió en el uso de la sonda como el componente capacitivo de un filtro de paso bajo. Un microcontrolador genera una onda cuadrática de frecuencia de 250 kHz en la patilla D3 (y más tarde 125 kHz, 62,5 kHz y 31 kHz). Estas frecuencias se seleccionaron por ser más altas que las que se usan en la práctica, dado el limitado producto ganancia ancho de banda (GBP) de los amplificadores operacionales de bajo coste. Adicionalmente se pretendía que estuvieran sincronizados con la frecuencia crítica de la resultante de los filtros de paso bajo. Posteriormente se pasa la señal a una resistencia de 47 k Ω y se conecta con un terminal de la sonda FDR capacitiva. El otro extremo de la sonda se conecta a tierra. Adicionalmente, la unión de la sonda y la resistencia de 47 k Ω se conectan a la entrada +ve de los amplificadores operacionales empleados. Éstos se configuran para amortiguar los valores máximos con un resistor retroalimentado de 330 R desde la salida a la entrada -ve. La salida se conecta mediante un diodo 1N4001 a un circuito 'detector de picos' consistente en una resistencia de 1,8 M Ω y un condensador de 100 nF conectados en paralelo y ambos conectados a tierra. La salida se conecta además a un conversor analógico-digital (ADC) a la entrada del microcontrolador. Este voltaje se prueba después de un período de estabilización de 20 ms después de que se aplique una señal de onda cuadrática. Una vez la potencia de la señal se ha registrado, la señal de la onda cuadrática se para y el microcontrolador fijo vuelve al estado de alta impedancia.

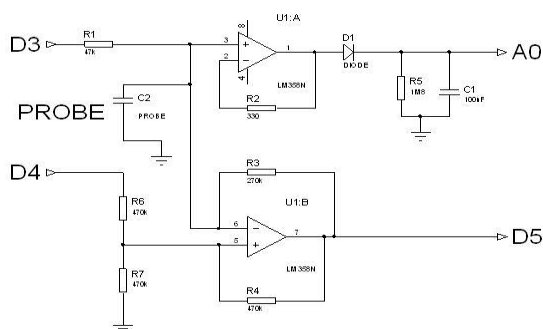


Figura 1. Diagrama del circuito de los dos métodos de las sondas capacitivas FDR.

Así, cuando la sonda capacitiva FDR está al aire o en un suelo muy seco, su capacitancia es baja (del orden de 30 pF). Por tanto, la frecuencia crítica del filtro de paso bajo es 113 kHz y se debería esperar una señal de atenuación sobre 3 dB de, por ejemplo, una señal de 125 kHz. Esta atenuación será más alta para la señal de 250 kHz y más baja que las señales de 62,5 y 31 kHz. Cuando la sonda capacitiva FDR está en un suelo muy húmedo, su capacitancia aumenta entre 200 a 400 pF, dando una frecuencia crítica entre 17 y 8,5 kHz. Para estos valores de frecuencias críticas, la atenuación de las cuatro señales de prueba es mucho más alta y con una lectura más baja y parecida al ADC. Aunque valor del cambio teórico en capacitancia perfecta puede ser tan alto como 80, en la práctica no se obtiene ese valor debido a la contribución de la constante dieléctrica del barniz de aislamiento del sensor y la geometría longitudinal

del sensor. Además, las frecuencias críticas y el comportamiento del filtro de paso bajo se ven más influenciados por la resistencia de retroalimentación de $270\text{ k}\Omega$ que se usa en el amplificador del segundo circuito. Durante las lecturas del primer método, la segunda salida del amplificador se fuerza a 0V por el microcontrolador en la patilla de salida D4 de control.

Específicamente, la atenuación teórica de la frecuencia crítica de 3dB solamente se aplica a señales de onda senoidales mientras que en el experimento se emplean ondas cuadráticas. Esto significa que hay importantes componentes armónicos, con amplitud decreciente, en la frecuencia base de múltiplos impares. Como se tiene solamente un valor pico de una señal y esos armónicos están normalmente sobre la frecuencia crítica del filtro de paso bajo, ello no influye significativamente en el comportamiento del sensor.

El segundo método usa la sonda como el elemento capacitivo en un circuito oscilador, cargando y descargando repetidamente el condensador cuando la diferencia de potencial pasa entre dos entradas de control. El tiempo empleado por la diferencia de potencial para subir y bajar entre esas entradas se mide en la patilla D5 sobre cuatro ciclos de media onda para suministrar un indicador del valor de la capacitancia. Para este método, la resistencia de $47\text{ k}\Omega$ y el primer amplificador no juegan un papel significativo como los que empleados en alta impedancia. La sonda capacitiva FDR se conecta entre tierra y la entrada -ve del segundo amplificador. Éste se conecta girado mediante una resistencia de retroalimentación de $270\text{ k}\Omega$ hasta la salida del segundo amplificador. La salida también se retroalimenta con la entrada +ve del segundo amplificador para cambiar la tarjeta de entrada y determinar cuál es el estado de cambios de salida del amplificador. Esta salida también se determina por el punto medio del divisor de potencial desde el control del microcontrolador de salida en la patilla D4 y 0V , consistente en dos resistencias de $470\text{ k}\Omega$ adicionales.

El oscilador se enciende mediante el controlador de salida D4 alta. La entrada +ve al segundo amplificador aumenta alrededor de $2,5\text{ V}$, más o menos mediante la resistencia de retroalimentación conectada a la salida del amplificador. Si esta salida es también alta, el umbral +ve se alcanza el valor de $3,2\text{ V}$ y la sonda FDR capacitiva empieza a cargar mediante la resistencia de retroalimentación de 270 k en el lado de entrada -ve. Cuando esta carga alcanza los $3,2\text{ V}$, la salida del segundo amplificador oscilará por debajo. Esto provoca que la sonda FDR capacitiva empiece a descargarse mediante la resistencia de $270\text{ k}\Omega$. Entonces la resistencia de retroalimentación de $470\text{ k}\Omega$ en el lado +ve cambia a la entrada +ve a alrededor de $1,8\text{ V}$ (ya que el valor de la salida del amplificador es bajo). Así la carga de la sonda FDR capacitiva alcanzaría valores por debajo de $1,8\text{ V}$. En este momento, la salida del amplificador vuelve a cambiar a alta y el ciclo se repite. La salida del segundo amplificador se monitoriza con una patilla de entrada de microcontrolador. El tiempo requerido para cargar y descargar la sonda FDR capacitiva entre esos umbrales se determina por su valor de capacitancia, que a su vez depende de la cantidad de agua en el área inmediatamente alrededor de la sonda.

Cuando la patilla de control indica un valor bajo, si en la salida del segundo amplificador es alta, la salida +ve del segundo amplificador se fuerza a ser menor que $1,6\text{ V}$. Inmediatamente cambia la salida del segundo amplificador a un valor bajo por debajo

del umbral, cerca de 0 V. En este estado, la sonda capacitiva FDR ya no puede cargar y se para la oscilación.

Teóricamente, cuando el oscilador del primer método de la onda cuadrática está trabajando, es posible que la diferencia de potencial en la entrada –ve del segundo amplificador caiga por debajo del umbral de la entrada +ve. En la práctica, con los amplificadores operacionales empleados en el experimento, se evita el problema.

Se probaron cinco amplificadores operacionales diferentes: dos amplificadores operacionales dobles (LM358 y OPA2134) y tres amplificadores operacionales cuádruples (TL074, MC33079 y TLC274). Las características más significantes de cada uno de estos dispositivos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de cada amplificador operacional

	LM358	OPA2134	TL074	MC33079	TLC274
GBWP (MHz)	1	8	3	16	2,5
Coste unitario (€)	0,085	0,68	0,045	0,35	0,26
Intensidad (mA)	0,25	4	1,4	8	0,8
Amplificador por DIL	2	2	4	4	4

Todos los amplificadores operacionales empleados en este experimento se conectaron a una patilla espaciada 0,1 pulgadas. Los paquetes duales en línea (DIL) se insertaron en una placa de prueba estándar, ya que se trata de prototipos. Para un modelo de producción masiva se pueden sustituir por tarjetas de circuitos impresos. Ello puede influir en la capacitancia del cableado de la sonda FDR a la salida de los amplificadores.

Se probaron dos modelos de sondas FDR de capacitancia (Fig. 2) con dos tratamientos de aislamiento cada uno (barniz y esmalte). El primer modelo consistió en una tarjeta de circuito impreso de doble cara rectangular de 54 mm por 39 mm con doble huella en forma de dedos entrelazados. La tarjeta de circuito impreso se construyó a partir de una placa FR4 de 1,6 mm y se aisló mediante inmersión en barniz, el cual se reservó 24 horas para secar antes de una segunda inmersión. La sonda se dejó al menos 7 días curando antes de su uso. Adicionalmente se conectó al interfaz electrónico mediante cables dobles de 40 cm de longitud. El área de medida es aproximadamente el 40% de la superficie de las tarjetas. Por tanto, se tiene un tamaño aproximado de 840 mm² por placa. En esta comunicación está referida como la sonda “*barniz plana*” (ver Tablas 5 y 6). Por otra parte se empleó el mismo modelo de sonda con tarjeta de circuito impresa pero esta vez pintada con dos manos de esmalte de uñas. Ello permitió obtener una capa delgada de aislamiento, pero menos uniforme que el caso anterior. Ésta se ha referido como la sonda “*esmalte plana*” (ver Tablas 5 y 6). El segundo modelo de sonda consistió en una placa de circuito impresa de 20 mm x 60 mm con dos dientes afilados de doble cara de 7 mm de ancho de placas aisladas, con tarjeta de circuito impreso (Fig. 2). En este caso las placas no están unidas en la parte superior. Los dos dientes están separados 6 mm. El circuito impreso se aísla usando la misma técnica del barniz descrita para el primer modelo. El área efectiva de la placa es de 500 mm². Igualmente se le aplicó una capa de barniz y dos de esmalte de uñas para tener respectivamente los modelos “*barniz diente*” y “*esmalte diente*” (Tablas 5 y 6).

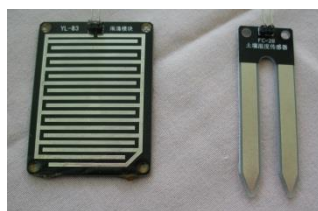


Figura 2. Modelos de sonda FDR empleadas: tipo plana (izquierda) y tipo diente (derecha).

El microcontrolador empleado para todas las sondas que se probaron en este experimento fue un Arduino Pro Mini PCB®, funcionando a 5 V y 16 MHz. Simultáneamente a las medidas con la sonda FDR, se hicieron medidas de resistividad por el método Wenner, según la metodología de Oates et al en 2014 y 2015 y según lo recomendado por US Geophysical Survey (Environmental Geophysics, 2011). Adicionalmente se tomaron medidas de temperatura mediante una sonda DS18B20 digital, insertada 3 cm en la muestra de suelo y situada entre las sondas del método Wenner y la sonda FDR capacitiva.

Un sistema con un solo sensor puede costar menos de 7 euros, incluyendo una caja normalizada IP56, sonda FDR, sensor de temperatura DS18B20, amplificador operacional LM358, interfaces electrónicos y microcontrolador. El microcontrolador envía los datos mediante una conexión puerto serie con cable CH340G USB para descargarse en un PC. Con 3 euros adicionales el sistema puede emplear 4 baterías y un radio transmisor-receptor NRF24L01 de 2,4 GHz o puede descargar datos directamente en una tarjeta *secure digital* (SD). Mediante un regulador de corriente la patilla de control de la fuente de alimentación LM358 se puede inactivar el diodo LED 'Power On' de Arduino, la radio y el microcontrolador y suministrar energía para 4 meses más. Este dispositivo tiene un precio total de menos de 10 euros.

Para cada amplificador, se hicieron pruebas de calibración para tomar lecturas de referencia con las sondas “*esmalte plana*” y “*barniz plana*” en aire y en agua junto a un rango de valores de capacitancia. Se hicieron pruebas con todos los diseños de sondas en condiciones de aire, agua y agua salada. Estas pruebas determinaron los dispositivos más adecuados en cuanto a combinación amplificador/sonda. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas en campo, a lo largo de 3 días, con varias combinaciones de sonda y amplificador en suelo húmedo. Se tomaron datos cada 5 minutos y se compararon con valores de resistividad por el método Wenner. Todos los resultados se han obtenido con una media de, al menos 5 lecturas, con variabilidad inferior al 1,5 % de los datos observados.

Resultados y Discusión

La fila ‘Tiempo’ de la Tabla 2 muestra el número de microsegundos para representar 4 oscilaciones de medio ciclo para el amplificador TLC274 con la sonda ‘*esmalte plana*’ en aire, agua y condiciones salinas y diferentes condensadores de diferentes capacitancias usados en lugar de la sonda. Ésta es la técnica de frecuencia variable. Las siguientes filas dan las lecturas en bruto de conversión analógica en digital (ADC), como media de 4 lecturas, para la sonda y condensadores usando las 4 frecuencias fijadas. Está claro que el tiempo de oscilación aumenta con la humedad y la capacitancia, además de que la fuerza de la señal a todas las frecuencias disminuye con la humedad y la capacitancia

y que la fuerza de la señal es más baja cuando se excita a las más altas frecuencias. La sonda en aire puede parecer que tiene una capacitancia efectiva de alrededor de 30 pF y en agua alrededor de 300 pF.

Tabla 2. Lecturas absolutas de tiempo (μs) (frecuencia variable) y en diferencia de potencial (mV) (frecuencia fija) para el amplificador operacional TLC274 con la sonda 'esmalte plana', a diferentes condiciones ambientales y diferentes condensadores de 22, 47, 100, 220 y 470 (pF).

		Aire	Agua	Condiciones salinas	22 pF	47 pF	100 pF	220 pF	470 pF
Frecuencia Variable	Tiempo (μs)	74	298	313	68	89	134	226	437
Frecuencia fija	250 kHz (mV)	2640	1990	1965	2775	2455	2185	2010	1915
	125 kHz (mV)	3230	2145	2110	3375	2995	2550	2215	2000
	62 kHz (mV)	3710	2440	2400	3780	3580	3135	2605	2195
	31 kHz (mV)	3885	2935	2895	3900	3860	3690	3210	2570

La Tabla 3 muestra la diferencia en cada par de lecturas (delta, Δ) entre la sonda 'barniz plana' estando en aire y agua usando cada uno de los amplificadores elegidos. La resolución es mayor cuanto mayor sea el valor de diferencia de par de lecturas. Para la técnica de la frecuencia variable, el TL074 da los resultados más favorables, aunque para 125 kHz es el LM358 el más adecuado y a 62 kHz el MC33079 se comporta mejor.

Tabla 3. Diferencia (Δ) entre las lecturas de aire y agua para la sonda 'barniz plana' y diferentes amplificadores operacionales

		LM358	OPA2134	TL074	MC33079	TLC274
Frecuencia Variable	Δ tiempo (μs)	118	87	124	90	111
Frecuencia fija	Δ 250 k (mV)	510	385	170	420	465
	Δ 125k (mV)	880	280	430	745	780
	Δ 62 k (mV)	580	60	645	885	865
	Δ 31 k (mV)	65	25	95	485	500

La Tabla 4 muestra la diferencia en cada par de lecturas (delta, Δ) entre condensadores de 22 pF y 47 pF usando cada uno de los amplificadores citados. Se muestran solamente las condiciones de suelo seco. Igualmente, cuanto más alto es el valor mejor es la resolución. El TL074 infraestima de una manera importante. Con los amplificadores LM358 y TLC274 se da el mejor comportamiento a 125 kHz.

Tabla 4. Diferencia (Δ) entre las lecturas de condensadores de 22 pF y 47 pF, equivalente a condiciones de suelo seco, con diferentes amplificadores operacionales

		LM358	OPA2134	TL074	MC33079	TLC274
Frecuencia Variable	Δ tiempo (μ s)	22	18	21	19	21
Frecuencia fija	Δ 250 k (mV)	205	165	0	95	320
	Δ 125 k (mV)	350	35	-10	345	380
	Δ 62 k (mV)	20	10	-15	230	200
	Δ 31 k (mV)	5	5	-5	50	40

Tabla 5. Diferencia (Δ) entre las lecturas de aire y agua para el amplificador operacional TLC274 con los dos modelos de sondas y dos tratamientos de aislamiento cada uno

		'barniz plana'	'esmalte plana'	'barniz diente'	'esmalte diente'
Frecuencia Variable	Δ tiempo (μ s)	111	224	56	206
Frecuencia fija	Δ 250 k (mV)	465	650	655	940
	Δ 125 k (mV)	780	1085	785	1310
	Δ 62 k (mV)	865	1270	490	1265
	Δ 31 k (mV)	500	950	150	915

La Tabla 5 muestra la diferencia de lecturas para las dos sondas y los dos tratamientos de aislamiento entre las condiciones de aire y agua usando el amplificador operacional TLC274. Claramente, el aislamiento mediante esmalte de uñas da los valores más altos, con la sonda '*diente*' se comporta mejor y a las más altas frecuencias. La tabla 6 presenta las diferencias de lecturas para los dos modelos de sonda con los dos tipos de aislamiento entre condiciones de agua y salinas (1 g por 100 ml) usando el amplificador operacional TLC274. Claramente el sensor tipo '*diente*' con el aislamiento de esmalte de uñas da la más alta sensibilidad, aunque el de tipo '*barniz diente*' no se ha movido fuera del rango de los valores útiles.

Tabla 6. Deltas de agua a condiciones salinas para TLC274 con los dos modelos de sonda y dos tipos de aislamiento cada una

		'barniz plana'	'esmalte plana'	'barniz diente'	'esmalte diente'
Frecuencia Variable	Δ tiempo (μ s)	5	15	2	23
Frecuencia fija	Δ 250 k (mV)	20	25	90	205
	Δ 125 k (mV)	25	35	40	195
	Δ 62 k (mV)	25	40	-25	115
	Δ 31 k (mV)	15	40	-25	45

Las pruebas se llevaron a cabo con varias combinaciones de sonda, amplificador y tipo de suelo en períodos de 3 días. Se encontró que el barniz empleado en el experimento tenía tendencia a extenderse en condiciones de suelo mojado. Ello conduce a la formación de ondulaciones en el aislamiento y genera un comportamiento errático. Las sondas 'planas' también mostraron una tendencia a crear una capa de humedad adherida a la superficie de la sonda. Este defecto, añadido a la naturaleza del entrelazado de las placas, produjo resultados erróneos. Los resultados del ensayo de 3 días de la sonda 'esmalte *diente*', usando el amplificador TLC274 a 125 kHz, se muestran en la Figura 2. Los valores que se muestran se han obtenido por tres técnicas: FDR con frecuencia variable (en verde), FDR con frecuencia fija (en rojo) y método Wenner resistivo (en azul claro). Se compararon estos valores con la temperatura del suelo (azul oscuro). Las tres técnicas muestran un aumento de valor al reducir el contenido de humedad. Se puede ver claramente que las lecturas están influenciadas por la temperatura, el método de Wenner con una correlación negativa y las lecturas del FDR con una correlación positiva. En los tres casos los resultados indican un secado gradual del suelo.

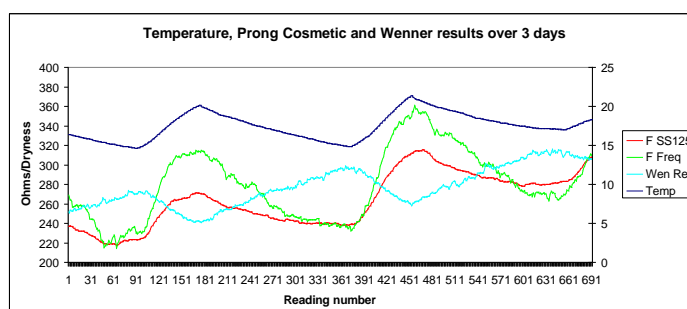


Figura 2. Valores de temperatura del suelo (en azul), resistencia (FDR frecuencia variable con el modelo 'esmalte *diente*', en verde, FDR frecuencia fija con el modelo 'esmalte *diente*', en rojo, y método Wenner, en azul claro) durante 3 días.

La Figura 3 muestra los mismos datos después de la compensación de la temperatura, usando la técnica descrita en Oates *et al.*, 2015. Las tres gráficas muestran un perfil

creciente. Sin embargo, la técnica de frecuencia variable muestra la mínima sensibilidad.

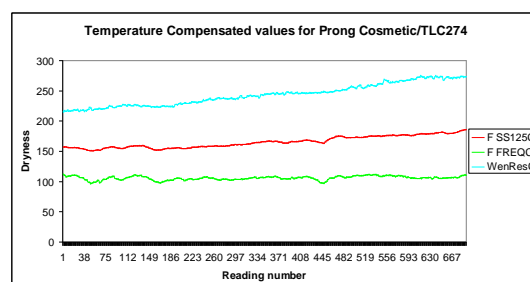


Figura 3. Valores compensados de temperatura para ‘esmalte diente’ (FDR con frecuencia variable, en verde, FDR con frecuencia fija, en rojo) y sondas Wenner (en azul claro) durante 3 días.

Conclusiones

Para las condiciones experimentales dadas se han obtenido varias combinaciones adecuadas entre sondas y amplificadores. Un amplificador con un valor muy alto de producto ganancia ancho de banda (GBP) no siempre garantiza el mejor funcionamiento a las más altas frecuencias. Debe haber un equilibrio entre maximizar la resolución en condiciones de secado de suelo y minimizar la sensibilidad a la salinidad. Los resultados sugieren que una sonda tipo *diente* con más de dos capas de esmalte de uñas pueden garantizar un buen funcionamiento a 125 kHz con el amplificador operacional LM358. Para sondas con dos sensores, el TLC274 da un buen comportamiento en un amplio rango de frecuencias pero con más coste y consumo de corriente.

Las características físicas de la sonda capacitiva son tan importantes como las eléctricas cuando se emplean en campo. Las placas FDR capacitivas requieren una separación física determinada para prevenir acumulaciones de finas capas de agua alrededor de la superficie de la sonda.

El nivel de humedad determinado por la sonda FDR capacitiva se puede usar para controlar la programación del riego con gran variabilidad de zonas de riego y cultivo que requieran un número elevado de sensores (puntos de control), dirigido a gestión eficiente con recursos hídricos escasos.

Los prototipos de dispositivos FDR de bajo coste mostrados se pueden combinar con dispositivos Wenner y medir simultáneamente humedad y salinidad del suelo, obteniendo información adicional para la gestión del riego y la ayuda a la toma de decisiones.

Agradecimientos

Los autores de la comunicación quieren agradecer a la empresa Telenatura EBT, S.L., su apoyo en el desarrollo del experimento.

Bibliografía

- Afa, J.T., Anaele, C.M., 2010. Seasonal variation of soil resistivity and soil temperature in Bayelsa State. *Am. J. Eng. Appl. Sci.* 3 (4), 704–709.
- Al-Asadi, R.A., Mouazen, A.M., 2014. Combining frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy for assessment of soil bulk density. *Soil Tillage Res.* 135, 60–70.
- Austin, R.S., Rhoades, J.D., 1979. A compact low cost circuit for reading four-electrode salinity sensors. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 43, 808–809.
- Baghdadi, N., Dubois-Fernandez, P., Dupuis, X., Zribi, M., 2014. Sensitivity of main polarimetric parameters of multifrequency polarimetric SAR data to soil moisture and surface roughness over bare agricultural soils. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 10 (4), 731–735.
- Everwand, G., Fry, E.L., Eggers, T., Manning, P., 2014. Seasonal variation in the capacity for plant trait measures to predict grassland carbon and water fluxes. *Ecosystems* 17 (6), 1095–1108.
- Fatas, E., Vicente, J., Latorre, B., Lera, F., Vinals, V., Lopez, M.V., Blanco, N., Pena, C., Gonzalez-Cebollada, C., Moret-Fernandez, D., 2014. TDR-LAB 2.0 Improved TDR Software for soil water content and electrical conductivity measurements. *Procedia Environ. Sci.* 19, 474–483 (FOUR DECADES OF PROGRESS IN MONITORING AND MODELING OF PROCESSES IN THE SOIL-PLANT-ATMOSPHERE SYSTEM: APPLICATIONS AND CHALLENGES).
- Gmail, K.S., 2015. Application of 2D resistivity profiling for mapping and interpretation of geology in a till aquitard near Luck Lake, Southern Saskatchewan, Canada. *ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES*, 73 (3): 923-935.
- Hadzick, Z.Z., Guber, A.K., Pachepsky, Y.A., Hill, R.L., 2011. Pedotransfer functions in soil electrical resistivity estimation. *Geoderma* 164 (3–4), 195–202.
- Hanson, B.R., Peters, D.W., 2000. Soil types affects accuracy of dielectric moisture sensors. *Calif. Agric.* 54 (3), 43–47.
- Igboama, W.N., Ugwu, N.U., 2011. Fabrication of resistivity meter and its evaluation. *Am. J. Sci. Ind. Res.* 2 (5), 713–717.
- Ishada, T., Makino, T., 1999. Effects of pH on dielectric relaxation of montmorillonite, allophane, and imogolite suspensions. *J. Colloid Interface Sci.* 212, 152–161.
- Islami, N., Taib, S.H., Yusoff, I., Ghani, A.A., 2012. Integrated geoelectrical resistivity, hydrochemical and soil property analysis methods to study shallow ground-water in the agriculture area, Machang, Malaysia. *Environ. Earth Sci.* 65 (3), 699–712.
- Janik, G., Skierucha, W., Blas, M., Sobik, M., Albert, M., Dubicki, M., Zawada, A., 2014. TDR technique for estimating the intensity of effective non rainfall. *Int. Agrophys.* 28 (1), 23–37.
- Ishada, T., Makino, T., 1999. Effects of pH on dielectric relaxation of montmorillonite, allophane, and imogolite suspensions. *J. Colloid Interface Sci.* 212, 152–161.
- Jaria, F., Madramootoo, C.A., 2013. Thresholds for irrigation management of processing tomatoes using soil moisture sensors in Southwestern Ontario. *Trans. ASABE* 56 (1), 155–166.
- Jiao-Jun, Z., Hong-Zhang, K., Gonda, Y., 2014. Application of Wenner configuration to estimate soil water content in pine plantations on sandy land. *Pedosphere* 17(6), 801–812.
- Kibria, G., Hossain, M.S., 2014. Investigation of geotechnical parameters affecting electrical resistivity of compacted clays. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 138 (12), 1520–1529.
- Kodikara, J., Rajeev, P., Chan, D., Gallage, C., 2014. Soil moisture monitoring at the field scale using neutron probe. *Can. Geotech. J.* 51 (3), 332–345.
- Lehmann, P., Gambazzi, F., Suski, B., Baron, L., Askarinejad, A., Springman, S.M., Holliger, K., Or, D., 2014. Evolution of soil wetting patterns preceding a

- hydrologically induced landslide inferred from electrical resistivity survey and point measurements of volumetric water content and pore water pressure. *WaterResour. Res.* 49 (12), 7992–8004.
- Linck, R., Fassbinder, J.W.E., 2014. Determination of the influence of soil parameters and sample density on ground-penetrating radar: a case study of a Roman picket in Lower Bavaria. *Archaeol. Anthropol. Sci.* 6 (1), 93–106.
- Mosuro, G.O., Bayewu, O.O., Oloruntola, M.O., 2012. Application of vertical electric soundings for foundation investigation in a basement complex terrain: a case study of Ijebu Igbo, Southwestern Nigeria. In: *Near-Surface Geophysics and Environment Protection*, pp. 29–34.
- Nadler, A., 1991. Effect of soil structure on bulk soil electrical conductivity (Eca) using the TDR and 4P techniques. *Soil Sci.* 152, 199–203.
- Newill, P., Karadaglic, D., Podd, F., Grieve, B.D., York, T.A., 2014. Electrical impedance imaging of water distribution in the root zone. *Meas. Sci. Technol.* 25 (5), <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/25/5/055110> (Number of article:055110).
- Oates, M.J., Vazquez de Leon, A.L., Edwards, N.M., 2014. A Minimal Cost Soil Moisture Measurement System. In: *Procs. of SensorNets 2014*, Jan 2014, Lisbon, Portugal, pp. 373–380.
- Oates, M.J., Vazquez de Leon, A.L., Intrigliolo, D.S., Molina Martinez, J.M., 2015. Evaluation of an experimental system of soil moisture registration for irrigation management in potted vineyard (*Vitis vinifera* L, CV Bobal) of multi-depth temperature compensation based in resistivity measurements. *Agric. Water Manage.* 151 (2015) 126–135.
- Read, D.W.L., Cameron, D.R., 1979. Relationship between salinity and Wenner resistivity for some dryland soils. *Can. J. Soil Sci.* 59, 381–385.
- Velstra, J., Groen, J., De Jong, K., 2011. Observations of salinity patterns in shallow groundwater and drainage water from agricultural land in the northern part of the Netherlands. *Irrig. Drain.* 60, 51–58.

S02 - Resultados preliminares de una herramienta de bajo coste para análisis de la luz solar y gestión eficiente de recursos agrícolas

Vázquez de León, A.¹, Oates, M.¹, Molina Martínez, J.M.², Ruiz Canales, A.¹

¹ Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche, Crtra. de Beniel, km 3,2, 03312 Orihuela (Alicante), profesionalpolifacetico@gmail.com, moates@btinternet.com, acanales@umh.es

² Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena (Murcia), josemiguel.molina.martinez@gmail.com

Resumen

Una gestión de cultivo eficiente, en tiempo real y automatizada depende de numerosos factores ambientales: humedad del suelo, temperatura, humedad del aire y luz solar. En particular la medida de la incidencia de luz solar puede ayudar en la adecuada gestión del riego, iluminación, calefacción y sombreado, tanto más si se puede incluir cierto grado de análisis relativo de las longitudes de onda. Los sensores de radiación solar tradicionales pueden ser costosos y normalmente sólo proporcionan medidas de intensidad promediada a lo largo de todo el espectro solar, impidiendo analizar las condiciones lumínicas. Un dispositivo económico de medición diferencial para diversas longitudes de onda permitiría determinar diferentes condiciones de iluminación solar para la gestión de recursos agrícolas. Los diodos Emisores de Luz (LEDs) se han usado tradicionalmente como fuentes de luz. Al exponerse a la luz con determinadas longitudes de onda con semiconductores dopados (con impurezas para cambiar sus propiedades físicas) conducen la corriente eléctrica. Usados de esta forma, los LEDs muestran una serie de características eléctricas como capacitancia, resistencia interna, saturación de voltaje, etc. Ello conlleva retos significativos a la hora de medir niveles lumínicos. En este artículo se analizan estos retos y la propuesta de varias soluciones. Se muestran los resultados preliminares de experimentos con un dispositivo LED de 6 elementos de bajo coste capaz de indicar casi simultáneamente las intensidades lumínicas relativas en diferentes longitudes de onda, desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR) cercano. Además distingue entre diferentes condiciones de luz: amanecer, atardecer, luz lunar, pleno sol y nubosidad. Con un costo inferior a 1 euro para los 6 LEDs es posible combinarlos con sensores de humedad del aire, temperatura y presión atmosférica, obteniéndose una completa estación meteorológica remota (transmisión por radiofrecuencia) y encapsulada (IP56) por aproximadamente 10 euros.

Palabras clave: intensidad lumínica, sensor, longitud de onda, LED, estación meteorológica.

Preliminary results from a low-cost Sunlight Analysis tool for efficient control of crop management resources

Abstract

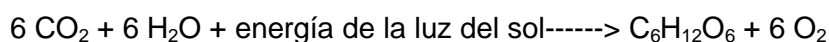
Efficient real-time, automated, crop management requires the determination of many environmental factors. These include localized soil moisture levels, temperature, air humidity and sunlight conditions. In particular, determination of sunlight levels can assist in irrigation, illumination, heating and shade management and this is further enhanced if a degree of relative wavelength analysis can be performed. Traditional solar radiation sensors can be expensive, and usually only give brightness measures averaged across a broad spectrum of wavelengths giving no opportunity to analyse the lighting conditions. Cost efficient measurement over several wavelengths can allow the determination of a range of different sunlight conditions, and this information can then be used to optimise the use of crop management resources. Whilst traditionally used as a source of illumination, Light Emitting Diodes (LEDs) also produce an electrical current when exposed to wavelengths of light to which their doped semiconductors are sensitive. When used in this manner, LEDs present a range of electrical characteristics including capacitance, internal resistance and voltage saturation etc. These characteristics present significant challenges when used to measure light levels and these challenges are explored here and solutions to the issues are presented. The paper presents preliminary results from

experiments with a low cost, 6 elements, LED based sensor array able to indicate near simultaneous relative light intensities at different wavelengths ranging from Ultra Violet to Near Infra Red, under a wide range of light levels. The sensor array is able to distinguish between different light conditions such as dawn, dusk, moonlight, bright sunlight and cloud. The cost of the 6 element LED array is under 1 euro. which when combined with an air humidity, temperature and barometric pressure sensor, can provide a comprehensive RF based, IP56 encased weather station for around 10 euros.

Keywords: light intensity, sensor, wave length, LED, meteorological station.

Introducción

La fotosíntesis se caracteriza por la siguiente ecuación, relativa al uso del agua respecto a la disponibilidad de luz empleada.



Fundamentalmente las clorofilas 'a' y 'b' absorben luz azul-violeta y roja respectivamente sin embargo sin absorber fotones con longitudes de onda entre los 500 y 600 nanómetros y se reflejan como verde. La clorofila a es el principal pigmento fotosintético y el único que puede actuar directamente para convertir la energía de la luz en energía química. Sin embargo, la clorofila b puede absorber fotones y la clorofila a no puede. La clorofila b aumenta considerablemente la proporción de fotones en la luz del sol que las plantas pueden utilizar. T.W. Engelmann, mostró en 1882, que los carotenoides ayudan a la fotosíntesis en la captura de energía de la luz de longitud de onda que no se absorbe eficientemente por ambas clorofilas (Raven et al, 2001). En la Fotosíntesis II, el pico de absorción es de aproximadamente 680 nanómetros, mientras que el pico de absorción de los pigmentos de la Fotosíntesis I de las plantas es de 700 nanómetros. Estos dos fotosistemas trabajan conjuntamente para completar una transferencia de electrones no cíclica. Cuando la proporción de fotosíntesis se midió usando dos rayos de luz de diferentes longitudes de onda (una roja y la otra alejada del rojo), Emerson y Lewis demostraron que la proporción era más grande que la suma de ellas usando rayos individuales de luz roja y más alejados del rojo (Emerson y Lewis, 1943). Por tanto, la combinación de diferentes longitudes de onda es crítica para una fotosíntesis eficiente.

Westlake mostró un amplio rango de factores que afectan a la productividad de las plantas (Westlake, 1963). Para algunos cultivos, regar durante condiciones de completa luz solar no es lo óptimo. Para otros, especialmente los que crecen en invernaderos de vidrio y en la maduración, puede ser beneficioso para garantizar niveles mínimos de luminosidad por medios artificiales cuando las condiciones de luz natural son insuficientes. A la inversa, puede ser beneficioso suministrar sombra artificial a algunos cultivos cuando las condiciones naturales de la luz llegan a ser demasiado intensas o persisten demasiado tiempo. Para algunos cultivos, la presencia de luz de luna (Kaczorowski et al, 2012) puede ser tanto beneficiosa como perjudicial debido al aumento de la probabilidad de polinizadores o de depredadores de éstos (por ejemplo murciélagos y polillas) (Proctor et al, 1996; Buchmann y Nabhan, 1996). La detección de tales condiciones puede llevar a la aplicación de pesticidas de control más eficientes y sistemas de apoyo de polinización (Shepherd y Buchmann, 2003), bien químicos, auditivos o mecánicos.

Por tanto, las condiciones meteorológicas específicas y las condiciones temporales además de las exposiciones a distribuciones de espectros de luz y el reconocimiento de tales distribuciones pueden controlarse en tiempo real, así como el uso óptimo de recursos de gestión del cultivo tales como el riego, iluminación artificial y gestión del calor y la sombra. En esta comunicación se muestra un experimento que relaciona diferentes condiciones lumínicas con la diferencia de potencial producida en diodos LED (Light Emitting Diodes) dopados. Estas propiedades se pueden emplear en sistemas agromóticos de control en plantas para la ayuda a la toma de decisiones.

Muchos LEDs son fabricados típicamente encapsulados con recubrimiento de lente. En algunos dispositivos este recubrimiento se colorea, proporcionando un filtro apropiado a la longitud de onda de la luz que se emite (algunos recubrimientos de infrarrojo pueden aparecer negros). Esta lente define un '*ángulo de rayo*' que es el ángulo de dispersión al cual se produce el 50% del brillo del rayo central. Este ángulo varía entre 10 y 120 grados. Sin embargo el LED puede trabajar también '*a la inversa*'. Cuando se expone a una determinada radiación electromagnética, una '*unión PN*' de dos semiconductores puede generar una corriente inversa proporcional al nivel de brillo al cual está sujeto el LED (dentro de sus límites) (Mimms III, 1992). Normalmente, para un LED sin lentes filtradas, la unión PN puede responder a longitudes de onda iguales o más cortas que las que han sido diseñados para emitir. Por ejemplo, un LED rojo puede responder a la luz verde y azul, pero un LED azul no responde bien a la luz roja. Obviamente para LEDs con lentes filtradas, la respuesta es solamente adecuada a las longitudes de onda que pueden pasar a través del filtro. En el caso de LEDs infrarrojos filtrados '*negros*', esta longitud de onda se optimiza cuando se usa para controles remotos manuales.

Sin embargo estas corrientes generadas son excesivamente pequeñas y el funcionamiento observado de los LED bajo estas condiciones de uso se determina por otras características del dispositivo y los métodos empleados para medirlos. En particular, éstos incluyen capacitancia y resistencia efectiva, aunque la corriente generada por la unión PN dopada (con un elemento adicional incluido en la estructura del diodo) se determina por el brillo y la longitud de onda de la radiación. La máxima diferencia de potencial a la cual se genera esta corriente depende de los materiales físicos (en gran parte de la misma manera como el máximo voltaje adelantado obtenido cuando se fuerza una corriente a través del LED). Posteriormente, la capacitancia del LED dopado y mediante el monitoreo del equipo y cableado esta diferencia de potencial se puede acumular en la corriente de detección del equipo de monitoreo. Dependiendo del tiempo empleado y de las condiciones de iluminación pueden generar intensidades de corriente (del orden de nano y microamperios). Sin embargo el máximo voltaje determinado por el material LED dopado no puede exceder del referido como '*Voltaje de Saturación*'. Estas características pueden emplearse para producir un sensor capaz de detectar un amplio rango de niveles de brillo, observación de diferencias de potencial desarrolladas sobre cortas escalas temporales para unas condiciones dadas y sobre largas escalas temporales para bajos niveles de iluminación. La corriente generada por la unión PN dopada (con un elemento adicional incluido en la estructura del diodo) se determina por el brillo y la longitud de onda de la radiación. La máxima diferencia de potencial a la cual se genera esta corriente depende de los materiales físicos (en gran parte de la misma manera como el máximo voltaje adelantado obtenido cuando se fuerza una corriente a través del LED). Posteriormente, la capacitancia del LED dopado

y mediante el monitoreo del equipo y cableado esta diferencia de potencial se puede acumular en la corriente de detección del equipo de monitoreo. Dependiendo del tiempo empleado y de las condiciones de iluminación pueden generar intensidades de corriente (del orden de nano y microamperios). Sin embargo el máximo voltaje determinado por el material LED dopado no puede exceder del referido como 'Voltaje de Saturación'.

Estas características pueden emplearse para producir un sensor capaz de detectar un amplio rango de niveles de brillo. Se presentan en esta comunicación algunos resultados experimentales en diferentes diodos LED dopados y sometidos a diferentes niveles de iluminación.

Material y Métodos

Se probaron diferentes LED dopados con diferentes condiciones de luz y con el fin de diagnosticar las posibilidades de su empleo como sensores de luz para control y toma de decisiones en agronomía.

La tabla 1 muestra para diferentes tipos de luz: el típico rango de longitud de onda, la hoja de datos con el pico de longitud para el LED empleado, la máxima lectura observada del LED (bajo luz del sol) en nivel de conversión analógico a digital (ADC) y diferencia de potencial y el voltaje adelantado desarrollado por el LED a 15 mA.

Tabla 1. Diferencia de potencial saturada y caída de potencial adelantada a 15mA para diferentes diodos LED

	Longitud de onda (nm)	LED (nm)	Lectura máxima de sol (ADC)	Lectura máxima de sol (V)	Voltios adelantados a 15 mA (V)
IR	>760	940	195	0,95	1,26
Rojo	610-760	620	331	1,62	1,88
Verde	500-570	515	434	2,12	2,93
Azul	450-500	465	495	2,42	2,94
UV	<400	405	423	2,07	3,16
Rojo Filtrado	610-760	640	316	1,54	2,15

Para los experimentos expuestos, el sensor consiste en un dispositivo de cuatro LED de 5mm encapsulados: un triple extinguido, un cátodo LED común rojo-verde-azul (RGB), en Segundo lugar un LED ultravioleta, en tercer lugar un LED filtrado rojo y finalmente una lente clara LED infrarroja. Las 4 encapsulaciones usaron un ángulo de rayo de 20-30 grados. Éstos se montaron de tal forma que las 4 encapsulaciones de lentes se dirigieron aproximadamente al mismo punto. (Fig. 1).



Figura 1. Montaje de los LED empleados en el experimento.

Se tomaron una serie de 11 lecturas de niveles de luz cada cierto tiempo en cada uno de los 6 canales LED dopados. Antes de empezar las series de cada canal, la patilla de

entrada analógica se configuró como salida digital a 0 y se hicieron lecturas ADC simuladas. Las primeras cuatro lecturas se tomaron en sucesiones inmediatas con los interruptores de los procesadores apagados. Se empleó como hardware y software de tratamiento de datos Arduino®. Como este dispositivo es capaz de enviar varios miles de conversiones ADC por segundo, las cuatro lecturas se tomaron en menos de 1 ms. Los retrasos incrementados de 1 ms y 2 ms se aplicaron antes de las lecturas 5ª y 6ª respectivamente. Después de un último retraso de 7 ms, se reactivaron los interruptores y se tomó la séptima lectura. Se aplicaron retrasos incrementados de 20 ms, 70 ms, 200 ms y 700 ms, y se aplicaron antes de las lecturas 8ª, 9ª, 10ª y 11ª respectivamente. El resultado es un grupo de cuatro lecturas espaciadas linealmente en el tiempo con cortas exposiciones de tiempo, seguidas por unas series de siete lecturas espaciadas con tiempos de exposición crecientes exponenciales. Después de las once lecturas tomadas, los resultados se imprimieron en el puerto de salida.

Se presentan los resultados de tres experimentos específicos. En el primer experimento, los sensores de sensores están sometidos a un rango de condiciones de luz solar diferentes. Las condiciones definidas como: luz solar directa, cielo azul brillante, nublado tenue y crepúsculo, se discuten con algún detalle en la sección de resultados. Posteriormente se hace un análisis preliminar de los resultados obtenidos con el fin de desarrollar un conjunto de medidas simplificadas y reglas de clasificación. El segundo experimento presenta los datos típicos de tres días y medio de recolección de lecturas a partir de los 6 canales cada 5 minutos. Igualmente los resultados se discuten y se presenta un análisis de clasificación. El tercer experimento presenta los datos detallados recolectados cada 8 segundos de un conjunto de sensores RGB de tres canales posicionado directamente durante un amanecer en un período de 80 minutos. Se discuten los cambios relativos en niveles de brillo a diferentes longitudes de onda así como su evolución en el tiempo.

Resultados y Discusión

Experimento1 – Clasificación preliminar.

La tabla 2 muestra los resultados típicos de la exposición de sensores LED bajo luz solar directa sobre el sensor. Se muestra que los canales infrarrojo y rojo se han saturado en las primeras dos lecturas que se han considerado con un tiempo de exposición menor a 1 ms. Por la 5ª lectura (aproximadamente 1 ms más tarde), todos los canales excepto el del LED rojo filtrado se han saturado e incluso éste se satura virtualmente por la lectura 7ª (más de 9 ms más tarde). En el canal filtrado rojo se muestra un crecimiento casi lineal sobre las primeras cuatro lecturas temporales. Por otro lado se determina la máxima disponibilidad actual por la cantidad de luz que se puede emplear y el voltaje al cual puede ser generado por dispositivos físicos. En este caso se emplea el voltaje a través de la capacitancia alcanza su razón de crecimiento lento. Se muestra un crecimiento asintótico en lecturas posteriores.

Tabla 2. Lecturas con cielo despejado con luz directa del sol (mV).

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965
Rojo	1135	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1645
Verde	310	1720	2165	2165	2165	2165	2165	2165	2170	2170	2170

Azul	265	1545	2330	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2475	2475
UV	95	750	1270	1730	2025	2055	2020	2025	2020	2020	2020
Rojo	0	55	115	180	745	1210	1555	1585	1585	1580	1580
Filtrado											

La tabla 3 muestra los resultados típicos tomados en un día con cielo despejado, con el sol incidiendo indirectamente sobre el sensor. Los últimos niveles de saturación después de 1 segundo de exposición se pueden ver que en la mayoría de los casos están sobre el 5% más bajo, excepto UV e IR, los cuales quedan por debajo de cerca del 20%. Sin embargo las lecturas a tiempos de exposición más cortos se muestran grandes reducciones en la actual cantidad de luz disponible a diferentes longitudes de onda. El crecimiento casi lineal sobre las primeras cuatro lecturas es ahora visible en todos excepto en los canales rojo e IR, los cuales se saturan efectivamente en las primeras dos lecturas, pero ambas ven solamente el 17% del valor final en la primera lectura.

Tabla 3. Lecturas con cielo despejado con luz indirecta sobre el sensor (mV).

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	135	775	795	795	795	795	795	795	795	795	795
Rojo	270	1560	1575	1575	1575	1575	1575	1580	1580	1575	1575
Verde	20	260	490	690	1835	2045	2045	2045	2045	2045	2045
Azul	20	235	440	620	1825	1985	2375	2380	2380	2380	2380
UV	0	10	30	45	200	225	365	1645	1645	1645	1645
Rojo	0	5	20	35	170	235	355	1500	1500	1500	1500
Filtrado											

La tabla 4 muestra las lecturas típicas bajo condiciones de cielo nublado. La mayoría de los niveles de saturación final son similares a los de la tabla 3 pero los niveles UV e IR son más altos. El aumento de los valores para la luz roja filtrada es considerablemente inferior y en contraste con la tabla 3, la primera lectura del canal IR es un porcentaje más alto de su máximo valor que para el canal rojo. Bajo condiciones nubosidad todas las lecturas alcanzan niveles más bajos. Sin embargo las observaciones generales indican que IR es más intenso que los restos de rojo (Wiscombe *et al.*, 1984). Por tanto, las diferencias de lecturas son mayores a partir de la columna L4 y la cantidad de verde y azul indican el grado de nubosidad, con una mayor diferencia en L7.

Tabla 4. Lecturas con cielo nublado (mV).

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	250	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840
Rojo	180	1405	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580
Verde	35	280	515	720	1880	2075	2075	2075	2075	2075	2075
Azul	20	200	370	530	319	1595	2340	2400	2400	2400	2395
UV	0	30	60	95	385	430	670	1850	1845	1845	1845
Rojo	0	0	5	70	95	150	1145	1485	1485	1485	1485
Filtrado											

Las lecturas típicas tomadas en el crepúsculo (tabla 5) muestran un crecimiento más suavizado en los valores de todos los canales. Particularmente el nivel de saturación para el canal IR queda por debajo de su máximo valor de saturación de una manera significativa.

Tabla 5. Lecturas con cielo en crepúsculo (mV).

Lectura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	5	95	180	270	670	670	670	670	670	670	670
Rojo	10	115	215	320	1205	1445	1445	1445	1445	1445	1445
Verde	0	25	45	75	320	375	580	1920	1920	1920	1920
Azul	0	25	60	90	375	480	695	2275	2275	2275	2275
UV	0	0	0	0	30	40	70	560	1595	1605	1595
Rojo Filtrado	0	0	0	0	0	10	20	215	815	1380	1380

Para analizar estos valores las mediciones se refirieron a las lecturas máximas observadas para cada canal en las mediciones 1ª, 4ª, 7ª y 11ª. En la tabla 6 se refieren al L1, L4, L7 y L11 respectivamente.

Tabla 6. Porcentaje de la lectura máxima observada después de la 1ª, 4ª, 7ª y 11ª lecturas.

	Sol directo				Cielo azul				Ligeramente nublado				Crepúsculo			
	L1	L4	L7	L11	L1	L4	L7	L11	L1	L4	L7	L11	L1	L4	L7	L11
IR	100	100	100	99	14	82	82	82	26	86	86	86	1	28	69	69
Rojo	69	100	100	99	16	95	95	95	10	95	95	95	1	19	87	87
Verde	14	100	100	100	1	32	94	94	2	34	96	96	0	4	26	88
Azul	11	100	100	100	1	25	96	96	1	21	95	97	0	4	29	92
UV	5	83	100	96	0	2	26	78	0	4	31	87	0	0	3	75
Rojo Filtrado	0	11	98	100	0	2	23	95	0	0	9	94	0	0	1	87

A partir de este primer análisis, se eligieron para análisis posteriores los siguientes: IR L1 (IR1), IR L11 (IR11), Rojo L1 (R1), Rojo L4 (R14), Rojo L11 (R11), Verde L4 (G4), Verde L7 (G7), Verde L11(G11), Azul L4 (B4) y UV L7 (UV7). A partir de esas diez medidas reducidas, se obtuvo una clasificación simple (Holland, 1986) para determinar varias de las condiciones lumínicas actuales. Esta clasificación final incluyó los siguientes términos para determinar el grado de iluminación: sin luna, luz de luna, ligeramente contaminado, anochecer, amanecer, luz pobre muy nublado, sombra, ligeramente nublado, niebla, cielo azul y sol directo. Como se podía esperar, la diferencias entre amanecer, anochecer, luz de luna y ligeramente contaminado, muestran una dificultad de diferenciación. Gracias a que las nubes dispersan la radiación IR (Bantges et al, 1999) es posible detectar mediante longitudes de onda, cuándo el sol no incide directamente sobre el sensor. La clasificación inicial se validó con mediciones en un período de 20 horas y se comprobaron por contraste con otras lecturas.

Experimento 2 - 79 horas con/sin luz de luna y clasificaciones.

La figura 1 muestra un conjunto de canales seleccionados durante tres días y medio del experimento. Inicialmente IR11 y R11 muestran picos menores durante las primeras 30 lecturas debido a la luz de luna de la primera noche. Como el ángulo de incidencia del rayo de luz en el LED es solamente de 30°, no es posible ver el paso completo de la luna. Durante la tercera noche, toda la luz de luna se pierde debido a la existencia de cielo cubierto y cielo ligeramente contaminado. Las pérdidas de luz de luna se ven avanzar alrededor de una hora y media por día como estaba previsto debido al mes solar que es más largo que el mes lunar (Lockyer, 1870).

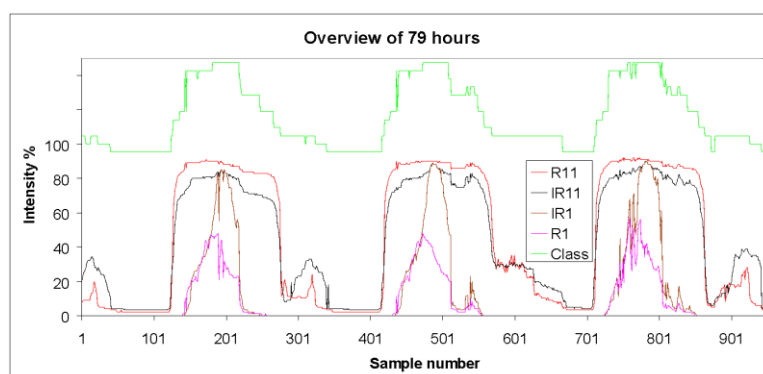


Figura 1. Vista de las 79 horas del experimento.

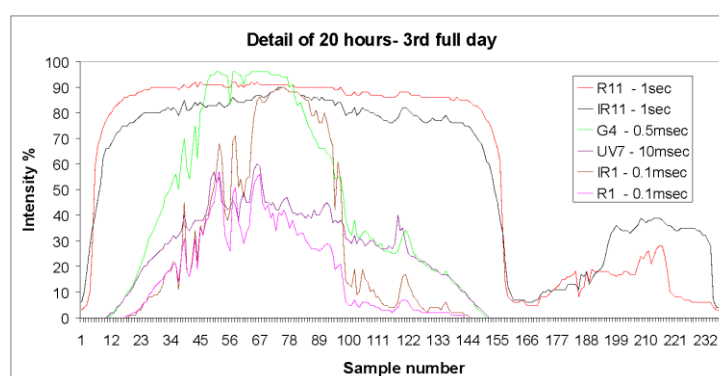


Figura 2. Tercer día completo detallado.

En la figura 1 se muestran las lecturas R1 y IR1, a partir de los que se determinan principalmente los valores de luz del sol directa, cielo azul y nublado. Se muestra que cada día empieza con niveles similares de R1 y IR1, señalando cielo despejado, hasta picos de R1. IR1 continúa hasta crecer como los LEDs de sol directo. El primer día completo (lecturas 100-300) tenían una cubierta ligeramente nublada, sin embargo en el segundo día completo (lecturas 400-600) hubo nubosidad creciente en la tarde más avanzada y se muestra con el pico en IR1. El tercer día completo (lecturas 700-900) mostraron períodos de niebla por la mañana y de espesa a ligeramente nublada para breves períodos por la tarde. El trazo superior de la figura, muestra una representación de la envolvente, oscilando desde sin luna (valor bajo) a sol directo (valor alto).

La figura 2 muestra trazos más detallados para el tercer día completo. Aquí, han sido añadidos los canales G4 y UV7. Las lecturas azul y verde se usan para determinar el nivel de nublado cubierto y determinar la sombra de la tarde. El nivel UV7 sigue un crecimiento suave relativo y caer durante días de luz diaria, siendo un patrón característico de la luz del día en el cielo pese a las condiciones de las nubes (Li et al, 1995; Hayasaka et al, 1995). La Fig 3 refleja la clasificación para cada uno de las lecturas de intervalos de 5 minutos durante las 20 horas de mayor variación del día. Esta clasificación fue validada mediante observación.

Tabla 3. Clasificación para el tercer día completo detallado de la figura 2. Sin luna (MOONLESS), luz polarizada (LPOL), amanecer (DAWN), pobre (POOR), azul (BLUE), niebla (HAZE), luz directa (DIRECT), luz coloreada (LIGHTC), sombra (SHADE), luz pobre (POOR), crepúsculo (DUSK), con luna (MOON).

6:36	MOONLESS	9:51	BLUE	13:07	DIRECT	16:24	LIGHTC	19:39	LPOL	22:55	LPOL
6:40	MOONLESS	9:56	BLUE	13:12	DIRECT	16:29	LIGHTC	19:44	LPOL	22:59	LPOL
6:45	MOONLESS	10:01	BLUE	13:17	DIRECT	16:34	SHADE	19:49	LPOL	23:04	LPOL
6:50	LPOL	10:06	BLUE	13:22	DIRECT	16:38	SHADE	19:54	LPOL	23:09	LPOL
6:55	LPOL	10:10	BLUE	13:27	DIRECT	16:43	SHADE	19:59	LPOL	23:14	LPOL
7:00	LPOL	10:15	BLUE	13:32	DIRECT	16:48	SHADE	20:04	MOONLESS	23:19	LPOL
7:05	DAWN	10:20	BLUE	13:37	DIRECT	16:53	SHADE	20:09	MOONLESS	23:24	LPOL
7:10	DAWN	10:25	BLUE	13:42	DIRECT	16:58	SHADE	20:14	MOONLESS	23:29	LPOL
7:15	DAWN	10:30	BLUE	13:47	DIRECT	17:03	SHADE	20:18	MOONLESS	23:34	LPOL
7:19	DAWN	10:35	DIRECT	13:52	DIRECT	17:08	SHADE	20:23	MOONLESS	23:38	LPOL
7:24	DAWN	10:40	DIRECT	13:57	DIRECT	17:13	SHADE	20:28	LPOL	23:43	LPOL
7:29	DAWN	10:45	DIRECT	14:02	DIRECT	17:18	SHADE	20:33	LPOL	23:48	LPOL
7:34	DAWN	10:50	DIRECT	14:06	DIRECT	17:23	POOR	20:38	LPOL	23:53	LPOL
7:39	DAWN	10:55	HAZE	14:11	DIRECT	17:27	POOR	20:43	LPOL	23:58	LPOL
7:44	POOR	11:00	HAZE	14:16	HAZE	17:32	POOR	20:48	LPOL	0:03	LPOL
7:49	POOR	11:04	HAZE	14:21	DIRECT	17:37	POOR	20:53	LPOL	0:08	LPOL
7:54	POOR	11:09	DIRECT	14:26	DIRECT	17:42	POOR	20:57	LPOL	0:13	LPOL
7:58	POOR	11:14	DIRECT	14:31	HAZE	17:47	POOR	21:02	LPOL	0:17	LPOL
8:03	POOR	11:19	DIRECT	14:36	HAZE	17:52	POOR	21:07	LPOL	0:22	MOON
8:08	POOR	11:24	DIRECT	14:41	LIGHTC	17:57	POOR	21:12	LPOL	0:27	MOON
8:13	POOR	11:29	HAZE	14:46	LIGHTC	18:02	POOR	21:17	LPOL	0:32	MOON
8:18	POOR	11:34	DIRECT	14:51	HAZE	18:07	POOR	21:22	LPOL	0:37	MOON
8:23	BLUE	11:39	DIRECT	14:56	LIGHTC	18:11	POOR	21:27	LPOL	0:42	MOON
8:28	BLUE	11:44	DIRECT	15:01	SHADE	18:16	POOR	21:32	LPOL	0:47	MOON
8:33	BLUE	11:49	DIRECT	15:06	LIGHTC	18:21	POOR	21:37	LPOL	0:52	MOON
8:37	BLUE	11:54	DIRECT	15:10	LIGHTC	18:26	POOR	21:41	LPOL	0:56	MOON
8:42	BLUE	11:59	DIRECT	15:15	LIGHTC	18:31	POOR	21:46	LPOL	1:01	MOON
8:47	BLUE	12:03	DIRECT	15:20	LIGHTC	18:36	DUSK	21:51	LPOL	1:06	MOON
8:52	BLUE	12:08	DIRECT	15:25	LIGHTC	18:41	DUSK	21:56	LPOL	1:11	MOON
8:57	BLUE	12:13	DIRECT	15:30	SHADE	18:46	DUSK	22:01	LPOL	1:16	MOON
9:02	BLUE	12:18	DIRECT	15:35	SHADE	18:51	DUSK	22:06	LPOL	1:21	MOON
9:07	BLUE	12:23	DIRECT	15:40	SHADE	18:55	DUSK	22:11	LPOL	1:26	MOON
9:12	BLUE	12:28	DIRECT	15:45	SHADE	19:00	DUSK	22:16	LPOL	1:31	MOON
9:17	BLUE	12:33	DIRECT	15:50	SHADE	19:05	DUSK	22:20	LPOL	1:35	MOON
9:21	BLUE	12:38	DIRECT	15:54	SHADE	19:10	DUSK	22:25	LPOL	1:40	MOONLESS
9:26	BLUE	12:43	DIRECT	15:59	SHADE	19:15	DUSK	22:30	LPOL	1:45	MOONLESS
9:31	BLUE	12:48	DIRECT	16:04	SHADE	19:20	LPOL	22:35	LPOL	1:50	MOONLESS
9:36	BLUE	12:53	DIRECT	16:09	SHADE	19:25	LPOL	22:40	LPOL	1:55	MOONLESS
9:41	HAZE	12:58	DIRECT	16:14	LIGHTC	19:30	LPOL	22:45	LPOL	2:00	MOONLESS
9:46	BLUE	13:03	DIRECT	16:19	LIGHTC	19:34	LPOL	22:50	LPOL	2:05	MOONLESS

Es difícil distinguir entre luz de luna y ligeramente contaminado, particularmente en áreas semiurbanas. En general, las condiciones de ligeramente contaminado parecen contener una alta proporción de longitudes de onda roja (Kondratyev y Binenko, 1989). Ello es claramente detectable, aunque hay un período significativo de iluminación por la noche. En la clasificación se optado por definir como ligeramente contaminado más que luz de luna. El uso de unos ángulos de incidencia mayores en la iluminación en los LEDs mejoraría la posibilidad de seguimiento de la iluminación lunar.

Experimento 3 - RGB amanecer.

La figura 3 muestra las líneas para la 4ª medida (menos de 1 ms de exposición) y la 11ª (1 segundo de exposición). Para el triple extinguido RGB LED indica un amanecer parcialmente nublado. Hay tres aspectos de interés. Primeramente, las intensidades de luz de longitud de onda azul reducen antes al verde y al rojo. En segundo lugar, el paso del sol durante el amanecer a través de la banda delgada de nublado afecta al canal rojo más que al verde y al azul. En tercer lugar, los niveles mínimos a los cuales los canales descienden después de la bajada del sol se pueden detectar con una exposición para un tiempo de un segundo. El rojo será más intenso que el verde y el azul.

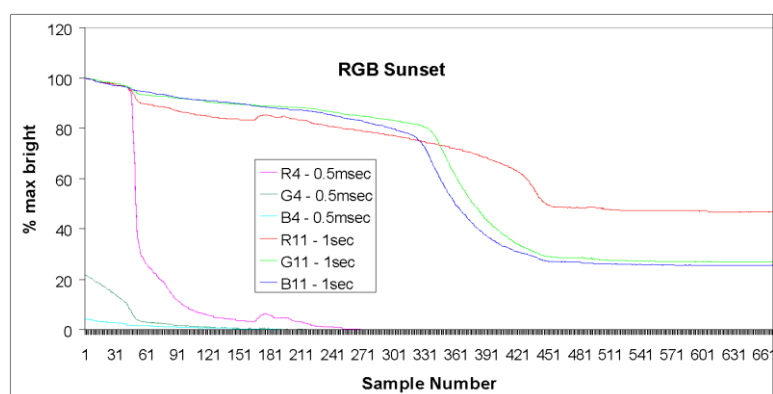


Figura 3. Amanecer en el RGB.

El primero efecto es lógico. Cuando amanece, la luz del sol incide sobre el sensor LED y va aumentando su longitud de onda, cerca de la línea tangencial de la atmósfera atravesando una zona espesa de ozono y otros gases para absorber longitudes de onda corta de luz (particularmente UV) (Melnikova y Mikhailov, 1994). Se absorben primero el azul y después los componentes del verde gradualmente dejando una proporción mayor de longitudes de onda más largas, como el rojo, hasta alcanzar el sensor. El sensor rojo siempre parece tener una lectura más intensa que el verde, y éste más que el azul. Sin embargo, por debajo de las condiciones experimentales diarias la diferencia entre las lecturas del verde insaturado (G4) y azul (B4) está por debajo de valores entre 1,5 y 1. Durante la salida inicial del sol, esta proporción se amplía entre 5 y 1 mostrando que el nivel de azul cae antes que el verde. Igualmente, las proporciones en las lecturas de rojo (R4) o azul insaturado (B4) cambian desde 5:1 a 15:1. El segundo efecto muestra que se distingue más claramente en un día despejado por una proporción más alta de IR frente a rojo debido a la dispersión de longitudes de onda más larga (Kondratyev et al, 1998). El tercer efecto muestra que los niveles de azul y verde se disipan suavemente en un nivel estable relativamente bajo al principio de la tarde.

Conclusiones

Bajo sol directo, la mayoría de los canales se saturaron en las tres primeras lecturas. La introducción deliberada de un condensador con un bajo valor de alta precisión a lo largo de cada canal ADC puede frenar esta saturación, dando resultados con mayor diferenciación. Sin embargo se pierde efectividad a niveles de luz muy bajos.

Una clasificación simple: sol directo, cielo azul brillante, nublado y noche se pueden determinar mediante un monitoreo de corta duración con infrarrojo y niveles de rojo. Para los canales verde y/o azul se debe incluir una graduación para condiciones de cielo nublado. Mediante esta información, el sensor puede programarse mediante software Arduino® y controlar en tiempo real la gestión de recursos para agricultura, tales como riego, iluminación artificial, calefacción y sombreado, gestión de pesticidas o soporte de polinización.

Se ha mostrado la dispersión de longitudes de onda más largas a través de las nubes.

Los resultados muestran que las fuentes de luz artificial se incluyen en la franja de infrarrojo a rojo. Los niveles de luz verde y azul están lejos de la luz natural.

Es posible monitorizar la luz diaria y analizarla usando este dispositivo de extremado bajo coste para su empleo en estaciones agroclimáticas de bajo coste.

Agradecimientos

Los autores de la comunicación quieren agradecer a la empresa Telenatura EBT, S.L., su apoyo en el desarrollo del experimento.

Bibliografía

- Bantges, R.J; Russell, J.E; Haigh, J.D. 1999. Cirrus cloud top-of-atmosphere radiance spectra in the thermal infrared, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 63: 487-498.
- Emerson R, Lewis C. 1943. The dependence of the quantum yield of Chlorella photosynthesis on wavelength of light. *Am J Bot* 30:165–17.
- Hayasaka, T., Kikuchi, N., Tanaka, M. 1995. Absorption of solar radiation by stratocumulus clouds: aircraft measurements and theoretical calculations. *J. Appl. Meteor*, 34: 1047-1055.
- Holland, J.H. 1986. Escaping Brittleness: The possibilities of General-Purpose Learning Algorithms Applied to Parallel Rule-Based Systems. In Mitchell, Michalski, and Carbonell, editors, *Machine learning, an artificial intelligence approach*. Volume II, 20: 593-623. Morgan Kaufmann.
- Kaczorowski, R.L, Seliger, A.R, Gaskett, A.C., Wigsten, S.K, Raguso, R. A., 2012. Corolla shape vs. size in flower choice by a nocturnal hawkmoth pollinator, *Functional Ecology*, 26, 577–587.
- Kondratyev, K. Y; Binenko V.L.; Melnikova I.N. 1998. Absorption of Solar Radiation by Clouds and Aerosols in the Visible Wavelength Region, *Meteorol. Atmos Phys*, 65: 1-10.
- Kondratyev, K. Ya., Binenko, V. I. 1989. The Specific Features of Spectral Radiative Characteristics of Stratus Clouds Above the City. In: Kondratyev, K. Ya eds. *Applied Problems of Atmospheric Physics*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 3-9.
- Li, Z, Barker H.W; Moreau L. 1995. The variable effect of clouds on atmospheric absorption of solar radiation. In *Nature*, 376: 486-490.
- Lockyer, N. 1870. *Elements of Astronomy: Accompanied with Numerous Illustrations, a Colored Representations of the Solar, Stellar, and Nebular Spectra, and Celestial Charts of the Northern and Southern Hemisphere*. American Book Company. p. 223.
- Melnikova, I. N., Mikhailov, V. V. 1994. Spectral Scattering and Absorption Coefficients in Stratus derived from Aircraft Measurements. *J. Atmos. Sci.* 51: pp. 925-931
- Mims III, F. M. 1992. "Sun Photometer with Light-emitting diodes as spectrally selective detectors" *Applied Optics*. Vol. 31, No. 33. November 20.
- Proctor M, Yeo P, Lack A. 1996. *The Natural History of Pollination*. Timber Press, Portland.
- Raven P.H., Johnson G.B 2001. *Biology* 6th Edition. McGrawHill; Part III Energetics, Chapter 10 Photosynthesis, 183-204
- Shepherd, M., Buchmann, S. 2003. *Pollinator Conservation Handbook*, Xerces Society
- Westlake, D.F. 1963. Comparisons of plant productivity. *Biological Review*, 38: 385-425.
- Wiscombe, W. J., Welch, R. M., Hall, W. D. 1984. The effect of very large drops on cloud absorption. Part I: Parcel models. *J. Atmos. Sci.* 41: 1336-1355.

S03 - Modelado y control multivariable de temperatura y humedad en un invernadero

Sánchez-Pérez, C.¹; Guzmán, J.L.¹, Sánchez-Molina, J.A.¹, Berenguel, M.¹

¹ Departamento de Informática, Universidad de Almería (España), ceiA3, CIESOL. Dirección: Ctra. de la playa, s/n. E-04120, La Cañada de San Urbano, Almería. Email de contacto: sanchez.perez.cristina@gmail.com, joguzman@ual.es, jorgesanchez@ual.es, beren@ual.es

Resumen

El crecimiento del cultivo se considera el aspecto clave en la horticultura bajo invernadero. Este crecimiento se encuentra fundamentalmente determinado por las variables climáticas, además del adecuado suministro de agua y nutrientes, y la presencia de plagas y enfermedades. La regulación automática de estas variables climáticas permitirá, en gran medida, controlar su crecimiento. El objetivo de este trabajo es el de intentar controlar conjuntamente la temperatura y la humedad relativa con una única entrada, el % apertura de ventanas (ventilación pasiva) en el invernadero. Además de los problemas que se presentan al intentar controlar dos variables con un solo actuador, existe además un alto grado de correlación entre ambas, de forma que la modificación del valor de una de ellas conlleva la variación de la otra. Al utilizar el mismo sistema de actuación (ventilación), el control de una de ellas puede provocar que la otra presente un comportamiento no deseado, fuera de los límites permitidos. Todos estos hechos llevan a probar con técnicas de control multivariable, basados en sistemas con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), en los que una o varias entradas afectan a una o varias salidas, y tiene como principal objetivo minimizar la interacción que causan unas variables a otras. En este contexto, se han obtenido modelos que describen la dinámica de las variables principales del invernadero y se han planteado tres estrategias de control: (I) Control de temperatura: Este control es el que permite controlar la temperatura de la manera más eficiente, sin embargo, no tiene en cuenta la humedad relativa. (II) Control de humedad: consiste en dejar sin control a la temperatura del invernadero, lo cual se resulta óptimo, siendo la variable principal del sistema. (III) Control selectivo: se centra en el control de la temperatura del invernadero, permite controlar la humedad relativa cuando la temperatura ya está dentro de un rango deseado. Los primeros ensayos en simulación han dado unos resultados muy prometedores.

Palabras clave: MIMO, Ventilación, Selectivo.

Modelling and multivariable control for temperature and relative humidity in greenhouses

Abstract

The crop growth is considered the most critical and key aspect for greenhouse crops. This growth is primarily determined by climatic variables, in addition to the adapting supply of water and nutrients, and by the presence of pests and diseases. Automatic regulation of these climatic variables will allow largely control their growth. The aim of this work is to control jointly the temperature and relative humidity with a single input, the greenhouse ventilation. Further to the problems that arise to control two variables with a single actuator, there is also a highly negative correlation, so that changing the value of one of them involves the variation of the other but in opposite way. Using the same actuator (ventilation) system, the control of one of them may cause an undesirable behaviour, being of the limits. All these facts lead to evaluate multivariate control techniques, based on systems with multiple inputs and multiple outputs (MIMO). In these systems, one or several inputs affect one or more outputs, and its main objective is to minimize the interaction among the variables. With this objective, system models that describe the dynamics of the main variables of the greenhouse have been obtained and, based on those models, three control strategies were designed: (I) Temperature control: It consists in controlling the temperature in the most efficient manner, but it does not consider the relative humidity. (II) Humidity control: the greenhouse temperature control is not considered, what is not adequate because it is the main variable of the system. (III) Selective control: it focuses on controlling the temperature, but switching to relative humidity control when the temperature is within a desired range. Promising results were obtained in a first simulation study.

Keywords: Multivariable, Climate, Ventilation, Selective control

Introducción y/o Justificación

En la actualidad, la agricultura tiende a ser cada vez más productiva debido a exigencias de calidad, cantidad y precio. Es por esto que se está realizando un gran esfuerzo tratando de hacer llegar la tecnología a la cadena agrícola (Ramírez et al., 2012, Rodríguez et al., 2015), mejorando la producción bajo invernadero y su posterior comercialización (Rodríguez et al., 2015). El crecimiento del cultivo se considera el aspecto clave en la horticultura bajo invernadero. Unas condiciones de crecimiento adecuadas determinarán la calidad y cantidad de la producción, siendo así necesario realizar los mayores esfuerzos en esta etapa, a fin de mejorar ambos aspectos. Debido a que el crecimiento de un cultivo se encuentra fundamentalmente determinado por las variables climáticas del entorno en el que se encuentra, por el adecuado suministro de agua y nutrientes, y por el control oportuno de plagas y enfermedades, controlando estas variables se podrá controlar en gran medida su crecimiento (Sánchez-Molina et al., 2015). Por esta razón, un invernadero es ideal para cultivar, pues se pueden manejar estas variables para alcanzar un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

En un invernadero tradicional, el control de la temperatura se realiza mediante el intercambio convectivo de aire entre el exterior y el interior del invernadero (exterior normalmente más frío) que se produce a través de las ventanas (Gruber et al., 2011). Esta ventilación natural consiste en un conjunto de ventanas laterales que normalmente recorren todo el perímetro del invernadero, ventanas cenitales situadas en la cubierta, o bien, una combinación de ambas. Una vez abiertas es cuando se produce ese intercambio de aire entre el interior y exterior del invernadero debido a la distribución de presiones distintas en la superficie de la estructura causadas por el viento exterior y a la diferencia de temperatura entre los dos volúmenes de aire (interior y exterior, Gruber et al., 2011). Cuando se intenta controlar las principales variables que influyen en el crecimiento del cultivo: temperatura y humedad, el problema surge al intentar controlar conjuntamente esas dos variables con una única entrada, la ventilación del invernadero. Además, existe un alto grado de correlación entre las variables a controlar, de forma que la modificación del valor de una de ellas conlleva la variación de la otra. Al utilizar el mismo sistema de actuación (ventilación), el control de una de ellas puede provocar que la otra presente un comportamiento no deseado, fuera de los límites permitidos. Todos estos hechos llevan a probar con técnicas de control multivariable, basados en sistemas con múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), en los que una o varias entradas afectan a una o varias salidas, y tiene como principal objetivo minimizar la interacción que causan unas variables a otras (Rodríguez et al., 2015).

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de un sistema que permita controlar la temperatura y la humedad en un invernadero a partir de la ventilación como única variable de control y teniendo en cuenta posibles perturbaciones que puedan afectar al sistema, como la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura exterior o la humedad absoluta exterior. Para llevar a cabo esta tarea es necesario solventar una serie de objetivos secundarios: (i) Elaboración de modelos que describan correctamente las relaciones entre las variables de salida (temperatura y humedad en el invernadero) y la de entrada (ventilación), (ii) análisis de la interacción entre variables y selección de las estructuras de control apropiadas y (iii) diseño e implementación de un sistema de

control multivariable a partir de los modelos obtenidos, que permita controlar correctamente las salidas del sistema evitando, en la medida de lo posible, las perturbaciones que puedan afectar al invernadero y las interacciones entre las variables.

Material y Métodos

Los ensayos presentados en este artículo se han realizado en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar “Las Palmerillas”, en el término municipal de El Ejido, en Almería. El cultivo se ha desarrollado en un invernadero tipo parral, tipo “raspa y amagado”, orientado en la dirección norte-sur (901 m²). La altura máxima o de cumbrera es de 4,4 m y la menor o amagado es de 3,6 m. La cubierta es de polietileno térmico de 0,18 mm (720 galgas de espesor) colocada entre dos mallas de alambre galvanizado. Los laterales están protegidos por una malla de 20x10 hilos, al igual que las ventanas cenitales.

El sistema de ventilación natural consta de ventanas laterales y cenitales. Las ventanas laterales están colocadas en los lados norte y sur. Las ventanas cenitales están colocadas en la cumbrera de cada sección y abren con orientación oeste en un ángulo máximo de 45°. No hay sensores de posición angular instalados, por lo que la apertura de las ventanas (laterales y cenitales) se estima calculando el tiempo que tarda en abrir (o cerrar) hasta la posición deseada. Los tiempos son diferentes en apertura o cierre por el efecto de la ventilación.



Figura 1. Vista del invernadero

En el interior del invernadero se han instalado sensores para medición de temperatura (aire, superficie de suelo, a 30 cm de suelo, en la cubierta), humedad relativa, radiación PAR, microlisímetro, y concentración CO₂, además de una estación meteorológica exterior (Fig. 1, temperatura, humedad, radiación PAR, radiación global, velocidad del viento, dirección del viento, concentración de CO₂ y lluvia). La frecuencia de muestreo de las variables fue de un minuto.

El sistema de calefacción está constituido por un calefactor por aire caliente alimentado con gasoil, un ventilador de distribución de aire y un depósito de combustible. El

calefactor tiene una capacidad de aporte de 95000 kcal y el ventilador es de 70 cm de diámetro con potencia de 0,39 kW.

Se han establecido cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de dos ciclo cortos con una variedad de cultivo distinta en cada campaña y una densidad de plantación de 2,1 plantas m⁻².

Resultados y Discusión

Con el objetivo de realizar el control de la temperatura y la humedad relativa de un invernadero, se han realizado ensayos para obtener modelos lineales que describan la dinámica de las variables principales del invernadero y poder, a partir de estos, desarrollar una estrategia que permita controlar el sistema. Los ensayos han sido realizados en un conjunto de seis días y validados en siete días diferentes.

Al utilizar modelos lineales basado en funciones de transferencia el ajuste que se obtendrá no será del 100%, sin embargo, el objetivo de estos modelos es con fines de control y por ello no se precisa un ajuste exhaustivo de los datos, ya que la realimentación compensará los pequeños errores de modelado.

Los resultados obtenidos del modelado de la temperatura y la humedad relativa se muestran en las figuras 2 y 3, respectivamente:

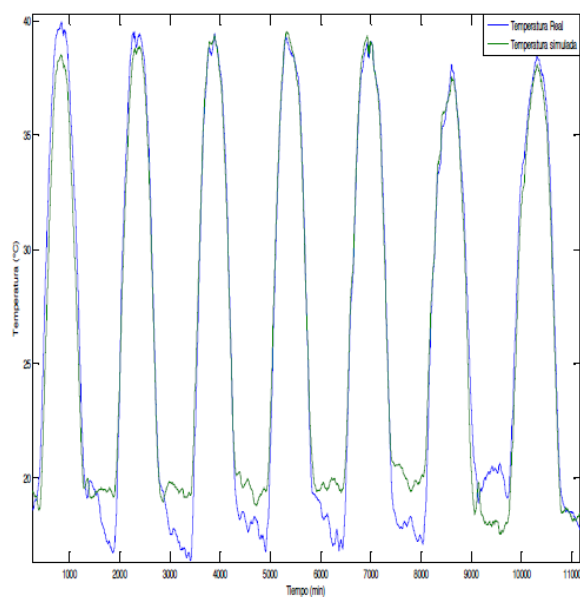


Figura 2. Modelo final de temperatura

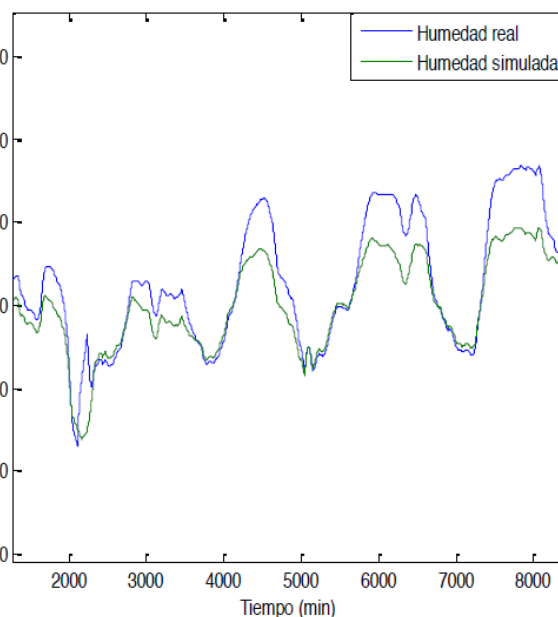


Figura 3. Modelo de humedad relativa (% + 100)

Estos resultados corresponden a la suma del modelo principal del sistema y todos los modelos de las perturbaciones estudiadas. La primera gráfica representa una comparación entre la temperatura real (color azul) y la temperatura simulada a partir de los modelos obtenidos (color verde). Se puede apreciar que el modelo obtenido se ajusta correctamente a la dinámica real de la temperatura en las horas de máxima radiación solar. Esta es la zona que nos interesa que se ajuste correctamente, ya que será en esta zona donde actúe el controlador. Las zonas de menor radiación solar, correspondientes a la noche, son las que peor se ajustan. Sin embargo, este problema

no es de interés, ya que sólo se pretende controlar la temperatura durante las horas de mayor radiación.

La segunda gráfica compara la humedad relativa real (color azul) y la humedad relativa simulada (color verde). Se puede apreciar que la dinámica real tiene más ganancia que el simulado. Esto se debe principalmente a la dinámica no lineal del sistema. Si se aumentase la ganancia para ajustar estos picos, la más leve variación en alguna de las perturbaciones podría aumentar demasiado la humedad relativa. El modelado de la humedad es bastante complejo. A pesar de esto, los resultados se pueden considerar aceptables.

A partir de estos modelos se han llevado a cabo tres estrategias de control:

- Control de temperatura.
- Control de humedad relativa.
- Control selectivo de temperatura y humedad.

Las dos primeras estrategias de control se han analizado con y sin control por adelantado, para comprobar el efecto que produce sobre las perturbaciones. A continuación se muestra una comparación del control de temperatura y humedad relativa con control por adelantado y sin este.

La figura 4 representa la temperatura con un controlador PI (color rojo), la temperatura con un controlador PI y control anticipativo (color azul) y la consigna establecida en 42 °C (color verde). Aunque en la gráfica no se aprecia demasiado bien, el uso de feedforward mejora la respuesta respecto a la consigna aproximadamente en un 0,1%. La figura 5 representa las señales de control. Aquí se puede apreciar como a la señal del controlador PI se le suma el efecto de las perturbaciones, de manera que cuando llega una perturbación, el controlador tiene información sobre esta y actúa en consecuencia. Además, se añaden dos gráficas (figuras 6 y 7) de la temperatura ampliada en torno a la consigna, para los días 1 y 3, donde se puede ver que la temperatura aumenta durante el día siguiendo su dinámica natural, hasta que llega a la consigna (42 °C), donde el controlador hace que se mantenga, hasta que vuelve a disminuir. Se puede apreciar cierto ruido que no ha podido ser eliminado mediante el uso del control anticipativo. Esto se debe a que los modelos no son perfectos y no consiguen eliminar completamente el efecto de las perturbaciones.

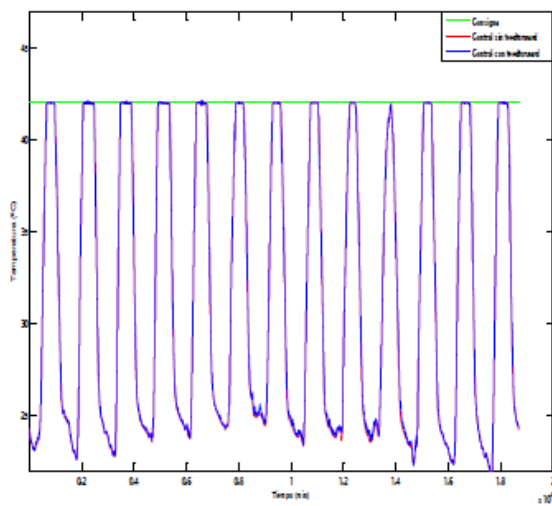


Figura 4. Control de temperatura

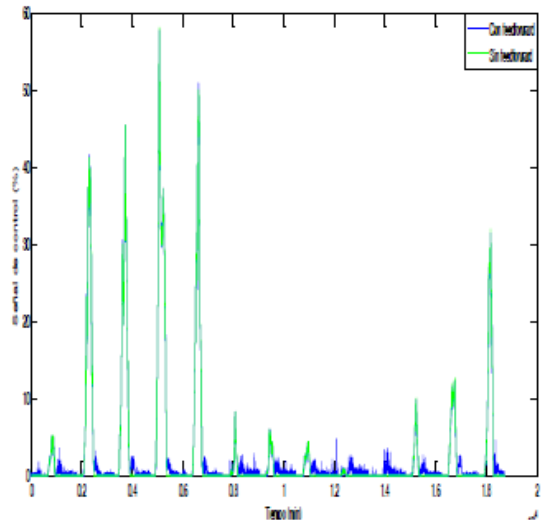


Figura 5. Señal de control de la temperatura

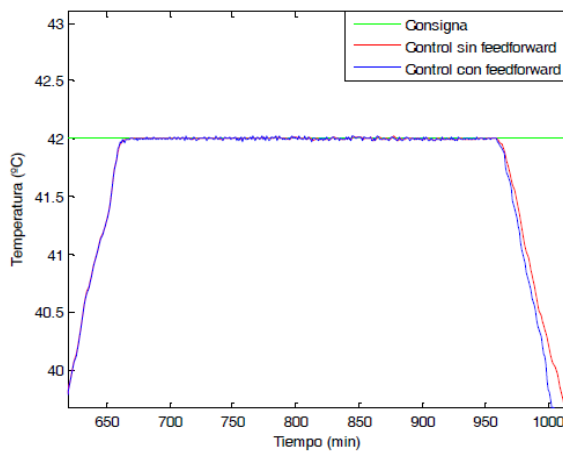


Figura 6. Control de temperatura en el día 1

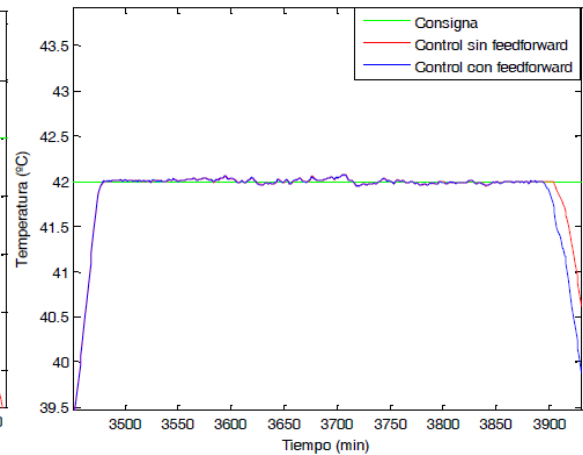


Figura 7. Control de temperatura en el día 3

La figura 8 muestra la humedad relativa con un controlador PI (color rojo), la humedad relativa con un controlador PI y control anticipativo (color azul) y la consigna establecida en el 27% (color verde). Aunque en la imagen puede no apreciarse correctamente la diferencia, añadir el control anticipativo mejora aproximadamente un 2% la respuesta respecto a la consigna.

La figura 9 representa las señales de control. Igual que en la temperatura, a la señal del controlador PI se le añade el efecto de las perturbaciones, de manera que el controlador posee información de las perturbaciones antes de que estas entren en acción. Esto es lo que permite mejorar la respuesta frente a las perturbaciones. Las gráficas 10 y 11 muestran ampliaciones de la humedad relativa en la zona que corresponde al medio día solar, para los días 1 y 3. Se observa que este control tiene peores resultados que el control de temperatura. Esto se debe a que la humedad relativa tiene una respuesta no lineal y resulta complejo aproximar su respuesta mediante modelos lineales.

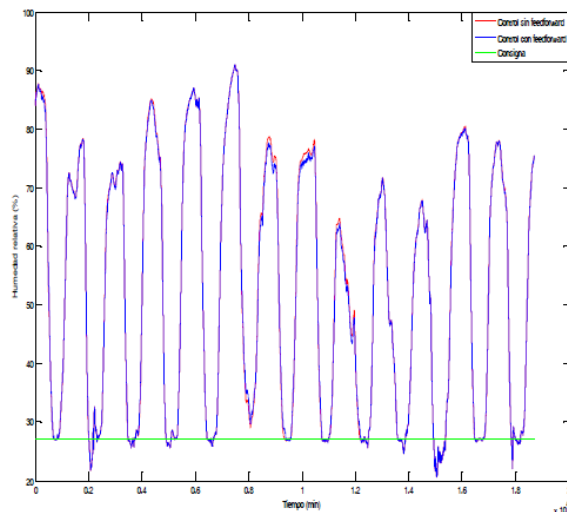


Figura 8. Control de la humedad

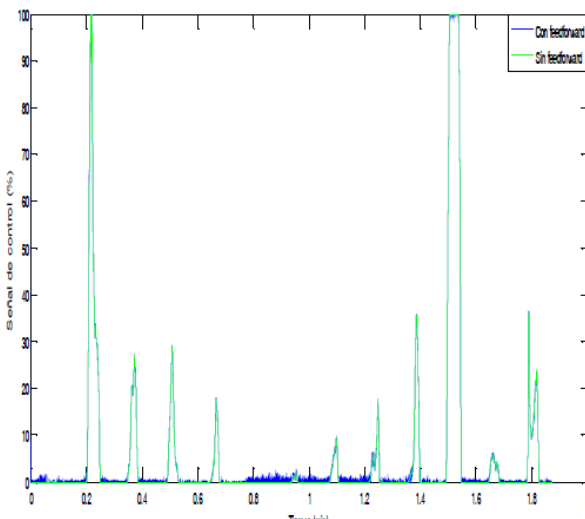


Figura 9. Señal de control de la humedad

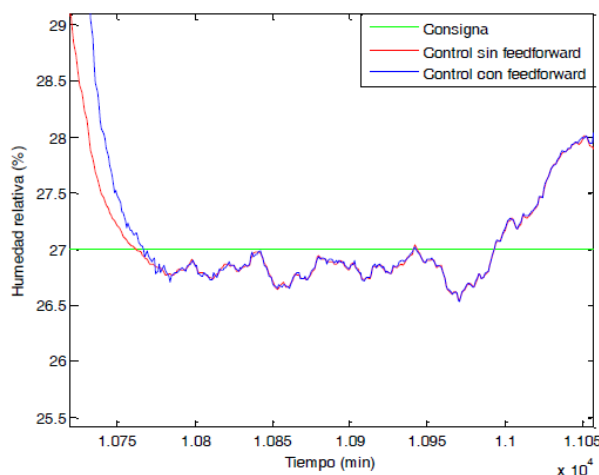


Figura 10. Control de la humedad en el día 1

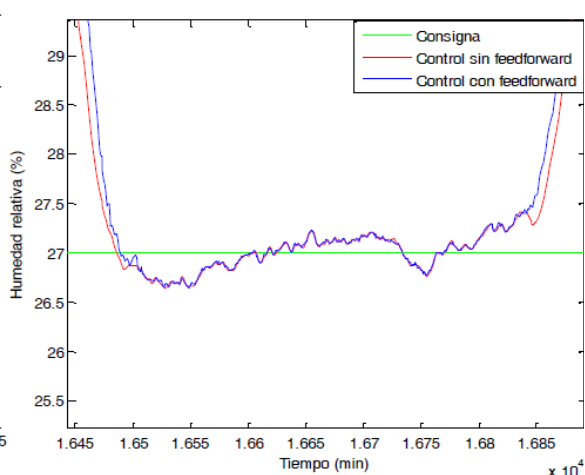


Figura 11. Control de la humedad en el día 3

Una vez comprobado el efecto positivo del control anticipativo, la tercera estrategia de control ya cuenta con este. La estrategia consiste en un control selectivo, que permita actuar sobre la temperatura y la humedad relativa, al contrario que en los casos anteriores, que solo se controlaba una de las dos variables. En función de unas condiciones previamente establecidas, se escoge cuál de las dos variables será controlada en cada momento. Estas condiciones han sido fijadas para que se dé prioridad al control de la temperatura, variable principal en el crecimiento de los cultivos, y cuando esta se encuentre dentro de un rango β , se pasará al control de la humedad relativa.

Los resultados de este último control se muestran en la figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17. La gráfica 12 representa la temperatura controlada (color azul) y la consigna establecida en 42 °C (color verde). Por su parte, la figura 13 muestra la humedad relativa (color azul) y su consigna (color verde), establecida en el 27%. La figura 14 muestra la señal de control de la temperatura (color azul) y de la humedad (color verde). Las dos gráficas siguientes (15 y 16) presentan una ampliación del control de temperatura para el día 2 y el día 4 y las dos últimas son una ampliación de la humedad relativa en los días 3 y 8.

Se puede apreciar como el control de la temperatura de esta estrategia es muy similar al control de la temperatura cuando ésta era la única variable a controlar, visto anteriormente. Esto se debe a que se ha priorizado este control. Sin embargo, la humedad sí que muestra cambios significativos. Al formar parte del lazo de control secundario, solamente actúa cuando el lazo principal está correctamente controlado y hay días, como el mostrado en la figura 17, en los que la humedad no consigue llegar a la consigna establecida. Las señales de control muestran las acciones llevadas a cabo por cada controlador. Se puede ver que los días de mayor humedad relativa corresponden a las señales de control más agresivas del controlador.

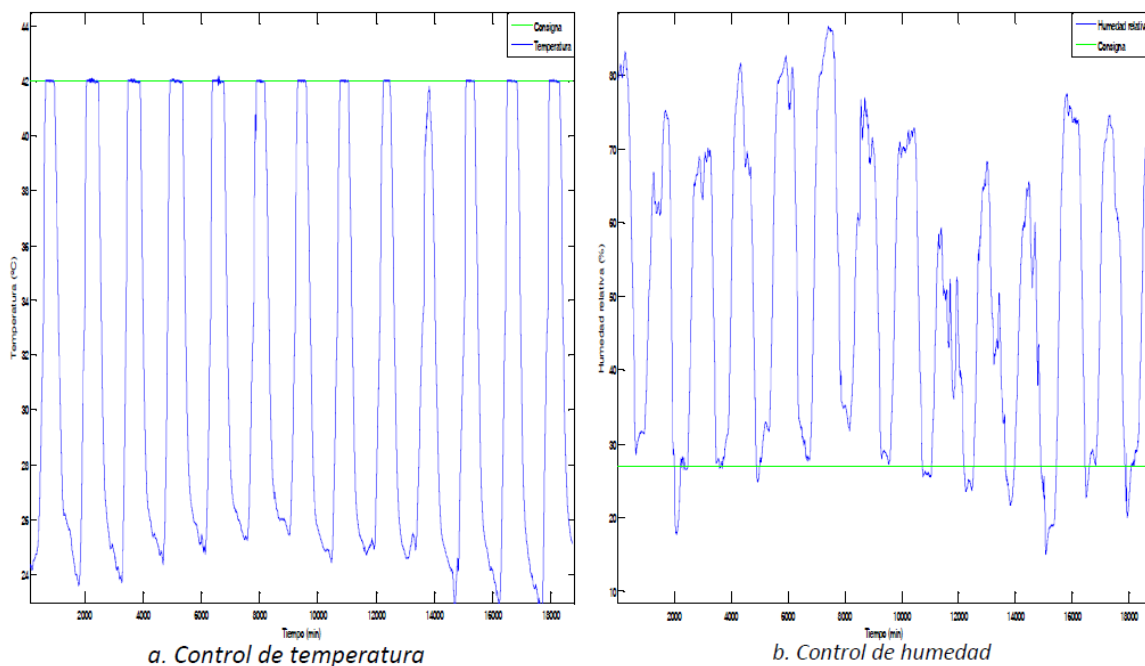


Figura 12. Control selectivo

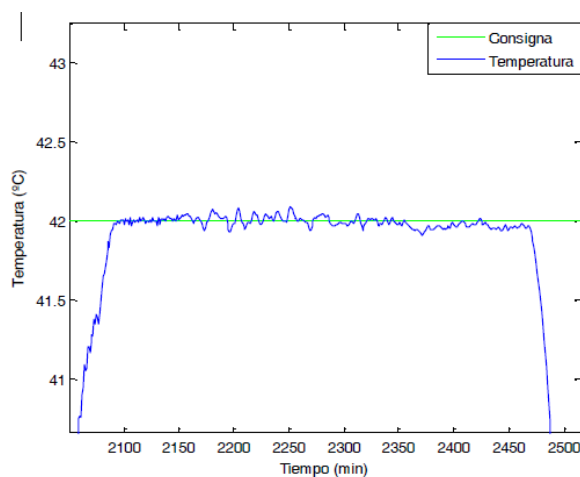


Figura 13. Control de la temperatura para el día 2

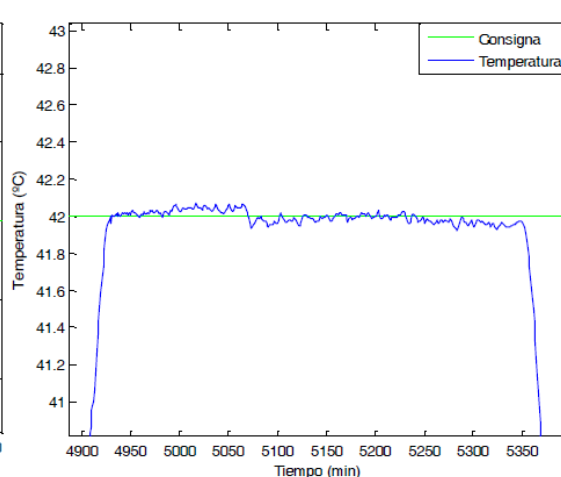


Figura 14. Control de la temperatura para el día 4

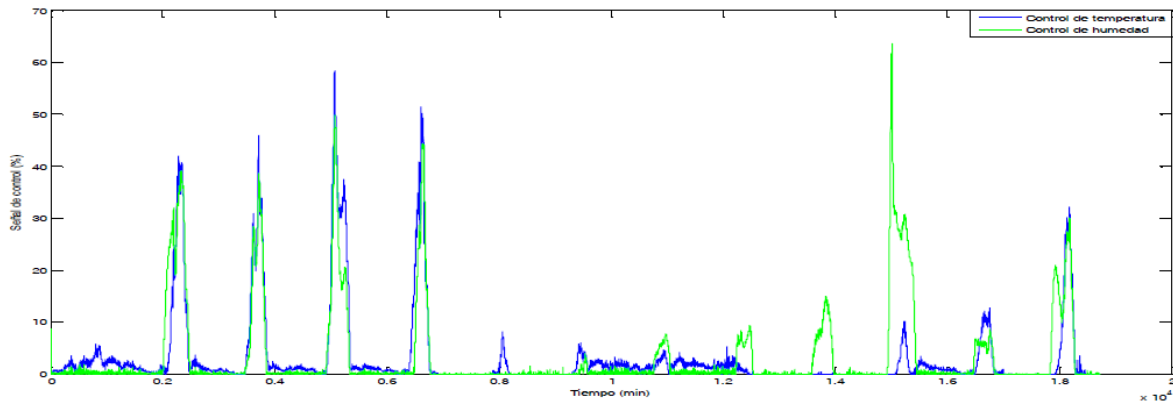


Figura 15. Señal de control selectivo

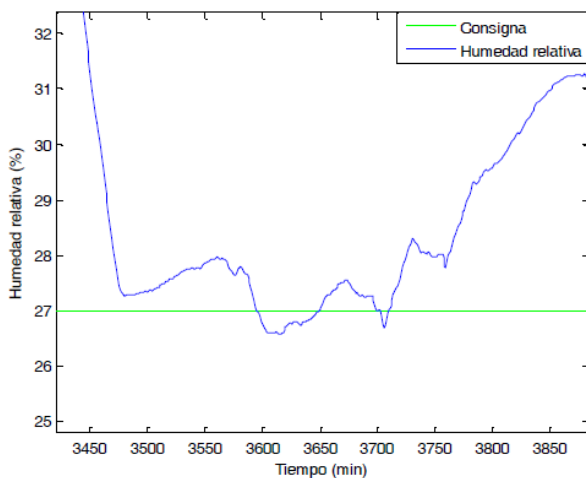


Figura 16. Control de la humedad en el día 3

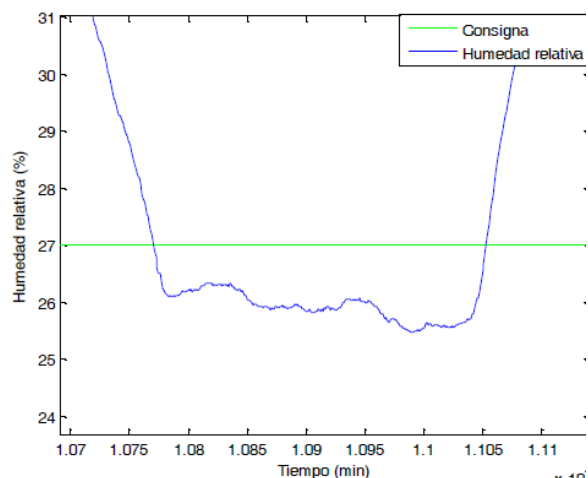


Figura 17. Control de la humedad en el día 8

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el modelado y control de la temperatura y de la humedad relativa en el interior de un invernadero. A partir de los experimentos realizados se obtienen las siguientes conclusiones:

- Las variables estudiadas, sobre todo la humedad, se ven afectadas por una gran cantidad de perturbaciones, lo que dificulta el modelado y que suponen respuestas no lineales de las variables a controlar.
- Para poder modelar correctamente las salidas del sistema es necesario escoger días donde la influencia del viento sea lo menor posible y trabajar en torno al medio día solar, donde la mayor parte de las perturbaciones tienen una influencia mínima, en comparación con el resto del día. Esto implica que sólo una pequeña parte de los datos podrá ser utilizada para la obtención de modelos.
- Además, para disminuir el efecto de las perturbaciones en el sistema es necesario estudiar la relación entre cada perturbación y las variables a controlar. Sin embargo, estos modelos no resultan demasiados exactos, debido a la considerable no linealidad del sistema, al igual que ocurre con los modelos del sistema principal. Esto implica que un pequeño cambio en el punto de operación puede provocar grandes cambios a la salida.

- Se plantea la utilización de un método de conmutación entre modelos, de manera que cada uno actuase en su punto de operación, permitiendo un ajuste más adecuado al sistema real. Sin embargo, este tipo de estrategia habría complicado demasiado tanto la obtención de modelos como el control del sistema.
- Los modelos no tienen en cuenta estas variaciones provocadas por no linealidades.
- Los modelos resultantes se han obtenido con la media aritmética de distintos ensayos realizados a lo largo de 6 días, en los que se ha variado tanto el punto de operación como la amplitud de la entrada. Esto supone una gran simplificación del proceso, pero también una pérdida de precisión. Además, hay que tener en cuenta que la época del año influye en el comportamiento del sistema, por lo que un controlador diseñado para una época del año en concreto, como es el caso de este proyecto, puede empeorar su comportamiento si es utilizado en otra época.
- A pesar de todo esto, los ensayos realizados han permitido obtener un modelo aproximado de la temperatura y de la humedad relativa del invernadero, en primer lugar, sin tener en cuenta el efecto de las perturbaciones y posteriormente, teniendo en cuenta las principales perturbaciones del sistema, como son la radiación solar, la temperatura exterior, la humedad absoluta exterior y la velocidad del viento. En ambos casos se han tenido en cuenta las limitaciones del sistema de ventilación en forma de saturación. Estas saturaciones provocan que la señal de control solo pueda tomar valores entre 0 y 100, que corresponde al porcentaje de apertura de la ventilación.
- Como cabría esperar, el uso de las perturbaciones medibles en el sistema de control supone una mejora en las salidas (temperatura y humedad relativa). El control por adelantado permite detectar las variables perturbadoras y tomar una acción de corrección antes de que la variable controlada se desvíe demasiado de la consigna establecida. Esto supone una mejora en el rendimiento del sistema y un ahorro de energía, permitiendo contrarrestar en gran medida la acción de las perturbaciones.
- Sin embargo, la forma en la que se han obtenido los modelos del control por adelantado tiene sus inconvenientes. La cancelación de las perturbaciones no es completa si los modelos no son perfectos, por lo que a pesar de añadir este tipo de control, las perturbaciones seguirán teniendo efecto en el sistema, aunque en menor medida.

A partir de los modelos principales del sistema, se han planteado tres estrategias de control.

- Control de temperatura. Este sistema de control se centra únicamente en el control de la temperatura. Tiene sentido plantear este tipo de control, ya que la variable que influye principalmente en el crecimiento de los cultivos es la temperatura del invernadero. Este control es el que permite controlar la temperatura de la manera más eficiente, sin embargo, no tiene en cuenta la humedad relativa. Con humedades relativas elevadas se favorece la aparición y desarrollo de enfermedades criptogámicas, además de disminuir la transpiración, lo que reduce la absorción de agua y nutrientes, pudiendo generar déficit de elementos como el calcio. Sin embargo, con humedades relativas bajas, la tasa de transpiración crece, lo que puede acarrear estrés hídrico, el cierre de los estomas y, por tanto, la reducción de la fotosíntesis. En base a estos hechos, es necesario mantener la humedad relativa del aire en un intervalo determinado.

- Control de humedad. Este control solamente actúa sobre la humedad. Esto deja sin control a la temperatura del invernadero, lo cual no resulta demasiado óptimo, siendo la variable principal del sistema. Sin embargo, con este tipo de control se obtienen los mejores resultados de control de la humedad.
- Control selectivo. El último tipo de control surge como la combinación de los dos sistemas de control anteriores. Centrándose en el control de la temperatura del invernadero, permite controlar la humedad relativa cuando la temperatura ya está dentro de un rango deseado. Este rango es ajustable, de manera que permite centrarse con mayor o menor precisión a la consigna. Este tipo de control supone una gran ventaja respecto a los dos anteriores, permitiendo el control de ambas variables en lugar de centrarse en una sola.

En lo referente a trabajos futuros, se destacan las siguientes ideas:

- Debido a la no linealidad dependiendo del punto de operación se plantea la idea de utilizar un método de conmutación entre modelos para distintos puntos de operación, de manera que permitan una mejor aproximación a la dinámica real del sistema.
- Estudio de modelos autorregresivos o de predicción del error que permitan describir mejor la dinámica del proceso y así poder utilizar estrategias de control más avanzadas.
- Diseño e implementación de estrategias de control predictivo que permitan mejorar los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en los marcos de los proyectos Controlcrop PIO-TEP-6174 (financiado por la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía, DPI2011-DPI2010-21589-C05-04 y DPI2011-27818-C02-01 (Ministerio de Ciencia e Innovación y financiado con Fondos FEDER), así como a la Estación Experimental de la Fundación Cajamar.

Bibliografía

- Gruber JK, Guzmán JL, Rodríguez F, Bordons C, Berenguel M, Sánchez JA, (2011) Nonlinear mpc based on a volterra series model for greenhouse temperature control using natural ventilation. *Control Eng Pract* 19(4): 354-366
- Ramírez-Arias A, Rodríguez F, Guzmán JL, Berenguel M (2012) Multiobjective hierarchical control architecture for greenhouse crop growth. *Automatica* 48(3): 490-498
- Rodríguez F, Berenguel M, Guzmán JL, Ramírez-Arias A (2015) Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth. Springer International Publishing Switzerland.
- Sánchez-Molina JA, Rodríguez F, Guzmán JL, Ramírez-Arias JA (2015) Water content virtual sensor for tomatoes in coconut coir substrate for irrigation control design, *Agr Water Manage*:151, 114-125

S04 - Metodología para el mapeado tridimensional de plantaciones de Olivar Tradicional con tecnología LiDAR

Llorens, J.¹; Miranda-Fuentes, A.¹; Gamarra-Diezma, J.L.¹; Gil-Ribes, J.A.¹; Gil, E.²

¹ Universidad de Córdoba, Área de Mecanización y Tecnología Rural, Dpto. de Ingeniería Rural. Córdoba 14005, Spain; E-Mail: ir2llcaj@uco.es (L.J.); g62mifua@uco.es (M.F.A.); o02gadij@uco.es (G.D.J.L); gilribes@uco.es (G.R.J.A.)

² Department of Agri Food Engineering and Biotechnology, Universitat Politècnica de Catalunya, 15 Esteve Terradas 8, Campus del Baix Llobregat D4, 08860 Castellet del, Barcelona, Spain, E-Mail: emilio.gil@upc.edu (G.E.).

Resumen

En cualquier proceso de manejo de una plantación de olivar es de suma importancia el conocimiento de la estructura de la vegetación para el ajuste de las operaciones a realizar, especialmente a todas aquellas que representan una operación en copa, como son las operaciones de aplicación de fitosanitarios, poda o recolección. En este trabajo se han utilizado distintos procedimientos manuales en comparación con un procedimiento electrónico para caracterizar el volumen de copa de árboles de olivar tradicional. En el caso de metodología electrónica se usa un sensor LiDAR (Light Detection And Ranging) terrestre junto con un sistema de georreferenciación mediante un DGPS (Differential Global Positioning System). Mediante este procedimiento se han caracterizado un conjunto de 16 olivos en una parcela de olivar tradicional. Los resultados obtenidos con la caracterización LiDAR se comparan con las medidas manuales para establecer las correlaciones entre parámetros. Además se establece el proceso de generación de mapas de vegetación para un futuro uso en el ajuste de las operaciones en copa. En el caso particular del proyecto MECAOLIVAR (www.mecaolivar.com) que incorpora este trabajo, se dispone de un proceso de caracterización de copa, manual y electrónica, para el ajuste de las aplicaciones de fitosanitarios en base a un coeficiente de aplicación ajustado con el volumen de copa.

Palabras clave: Parámetros cultivo, sensor, volumen copa, georreferenciación.

Methodology for generation tridimensional map of traditional Olive plantation using LiDAR technology

Abstract

The management of every olive orchard requires specific knowledge about the canopy structure to optimize different operations, especially those focused on the canopy, as for example the plant protection products application, pruning or harvesting. In this study, different manual volume measurement procedures were compared with electronic processes for structural characterization of traditional olive trees. For the electronic characterization, a terrestrial LiDAR (Light Detection And Ranging) was used at the same time of a georeferencing system by DGPS (Differential Global Positioning System). By this process, two groups of olive trees in two parcels have been characterized. The results obtained with LiDAR characterization were compared with those obtained with the manual measurement methods to set correlations between parameters. Also, process of map generation has been established to use for future canopy operations. In the particular case of MECAOLIVAR (www.mecaolivar.com) project, where this project has been developed, it has obtained a procedure for manual and electronic characterization of the canopy. This procedure will be used to adjust the spray application by establishing an application coefficient adjusted to the crown volume.

Keywords: Crop parameters, sensor, crown volume, georeference

Introducción

En cualquier proceso de manejo de una plantación de olivar es de suma importancia el conocimiento de la estructura de la vegetación para el ajuste de las operaciones a

realizar, especialmente a todas aquellas que representan una operación en copa, como por ejemplo las operaciones de aplicación de fitosanitarios, poda o recolección.

El cultivo del olivar y la producción de aceite representa uno de los recursos y actividades más importantes en España con un total de 2.58 MHa (Castillo-Ruiz *et al.*, 2015). En la mayor parte del cultivo del olivar, la estructura de la vegetación difiere mucho de lo que podría ser un cultivo en espaldera (por ejemplo, en viña o en frutales), y la mayor parte de la producción se realiza en árboles individuales que en muchos casos adquieren formas muy irregulares. Solo un 2% de la producción se realiza en plantaciones en formato superintensivo, el caso más parecido a cultivo en espaldera (AEMO, 2012).

La tecnología LiDAR es una de los métodos más precisos para la caracterización de la vegetación y se ha usado en una gran cantidad de estudios para la caracterización de vegetación de viña, frutales y cítricos (Rosell y Sanz, 2012). Aun así, son pocos los estudios donde se ha utilizado esta tecnología para la caracterización del olivar, donde cabe destacar el interesante trabajo con un LiDAR 3D estático desarrollado por Moorthy *et al.*, (2011), o el caso más reciente del trabajo precedente a esta comunicación realizado por el mismo equipo de trabajo Miranda-Fuentes *et al.*, (2015). En estos dos últimos casos se obtiene una nube de puntos mediante el sensor LiDAR y se establecen varias metodologías para el cálculo de parámetros vegetativos.

En el caso de caracterización manual de la vegetación, el Método Elipsoide es el más ampliamente usado (Villalobos *et al.*, 1995), pero tiene la dificultad que se ve ampliamente afectado por los puntos (en este caso los 3 semiejes) individuales escogidos para la determinación del elipsoide que contiene dicho árbol. En este apartado de caracterización manual se pueden añadir parámetros como Área de copa en proyección vertical, que se puede determinar mediante mediciones manuales o mediante triangulación a partir de mediciones con estación total topográfica (Xu *et al.*, 2013).

El objetivo principal de este ensayo es la caracterización de parte de una parcela de olivar tradicional mediante el uso de metodología LiDAR con georreferenciación. Con esta georreferenciación se pretende obtener la el mapa de volumen vegetación LiDAR y los mapas de caracterización manual de los mismos árboles. Posteriormente se propone evaluar la correlación entre los parámetros obtenidos con las relaciones previamente establecidas.

Materiales y métodos

La parcela de olivar caracterizada pertenece a una finca comercial situada en la provincia de Córdoba (Andalucía, España) (37°42'41.84" N; 4°48'45.60" O). El sistema de cultivo puede ser clasificado como tradicional (AEMO, 2012), y su marco de plantación, "a tresbolillo", presentaba una separación entre árboles de 12 m. Un total de 16 árboles pertenecientes a tres filas del cultivo fueron caracterizados de forma manual y electrónica (Figura 1).

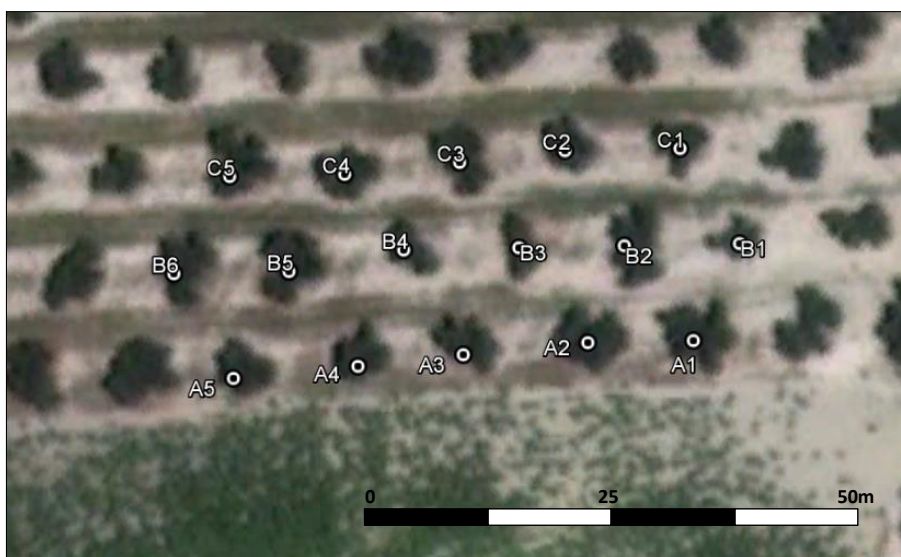


Figura 1. Posición e identificación de los árboles en parcela de Olivar Tradicional caracterizados para este ensayo. Ortofoto de la base de datos de Google Earth (Image© 2015 DigitalGlobe), fecha imagen 05/06/2011.

La caracterización electrónica de los árboles fue llevada a cabo mediante un escáner LiDAR 2D LMS-111 (Sick, Düsseldorf, Germany), cuyas principales características aparecen recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas sensor LiDAR.

Modelo	LMS 111
Campo de aplicación	Outdoor
Medición	905 nm
Ángulo de abertura	270°
Frecuencia máxima de exploración	25 Hz/50 Hz
Resolución Angular	0.25° /0.5°
Tiempo de respuesta	≥20 ms
Error sistemático	± 30 mm

El dispositivo con un rango de lectura de 270° se acopló al tractor mediante un mástil especialmente diseñado (Figura 2). Se utilizó una resolución de 0.5° y una frecuencia de escaneo de 10 Hz. Los árboles fueron escaneados a una velocidad de 1 km·h⁻¹ desde ambos lados.

La georreferenciación de los datos fue llevada a cabo con datos de un GPS modelo AgGPS162 (Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, CA, USA) con corrección diferencial EGNOS, que fue emplazado en el techo del tractor, en línea con el centro del escáner LiDAR y a 50 cm de distancia en el eje del sentido de la marcha (Figura 2).

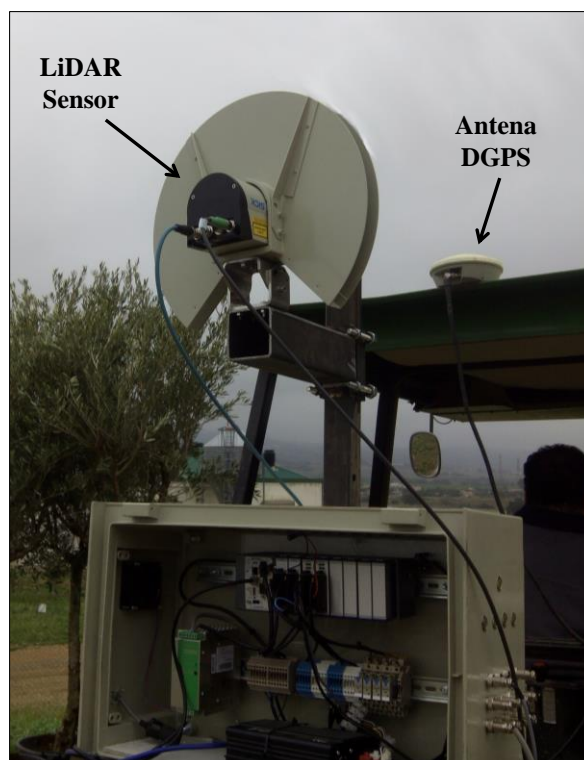


Figura 2. Sistema de escaneo acoplado a un tractor para la caracterización de la parcela de olivar. Se observa el protector solar para el sensor LiDAR.

La vegetación se caracterizó según las metodologías propuestas en Miranda-Fuentes *et al.*, (2015). Así, se emplearon los métodos del Elipsoide (que da como parámetro el volumen del elipsoide, V_E , en m^3), el método del Área Proyectada (que da la superficie proyectada, A_{PA} , en m^2) y el Vector Medio (que da como resultado la longitud media de los 8 vectores medidos, \overline{MV} , en m). Las distintas medidas se realizaron con un jalón topográfico y un flexómetro.

En este trabajo se planteó una sincronización automática de los sistemas LiDAR y GPS en base al parámetro tiempo disponible en la matriz de datos que se adquiere en el proceso de escaneo. Para esta sincronización hace falta solo conocer el tiempo exacto de desfase horario entre los dos sistemas, que en este caso particular era solo de 1 hora y 2 segundos, en este caso debido a las diferencias horarias entre sistemas, la NMEA (National Marine Electronics Association) del GPS se reciben en horario UTC (Universal Time Coordinated) y el ordenador de registro de datos LIDAR guarda los datos en horario español.

En el momento que se dispone de nube de puntos georreferenciada en bruto, se realiza un proceso manual de delimitación por distancia de los puntos correspondientes a las copas de los Olivos. Este procedimiento se realiza mediante el software CloudCompare (Girardeau-Montaut, 2011).

El cálculo de volúmenes LiDAR se realizó mediante la metodología propuesta por Xu *et al.*, (2013) y adaptada al caso particular del olivar en Miranda-Fuentes *et al.*, (2015). La nube de puntos se dividió por alturas en intervalos de 0.01 m (Δh), generando rebanadas horizontales. Todos los puntos de cada rebanada se proyectaron en un plano

horizontal, y se empleó el “Convex hull algorithm” para delimitar la superficie exterior a los mismos. La Ecuación 1 fue utilizada para obtener el volumen LiDAR de cada árbol.

$$V_L = \sum_1^n \Delta h \times A_i \quad (1)$$

Donde V_L representa el Volumen LiDAR calculado en m^3 , Incremento h corresponde a la altura de cada rebanada analizada en m y A_i corresponde a la superficie exterior de la agrupación de puntos en m^2 .

Una vez se han calculado todos los parámetros vegetativos (V_E , A_{PA} , \overline{MV} y V_L) junto con las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator coordinate system) del centro de cada árbol se puede proceder a la realización del mapa raster de la plantación estudiada. Para ello se utiliza una función “kriging” del paquete “geoR” del software estadístico y de cálculo numérico R (Ribeiro jr. y Diggle, 2001).

Resultados y Discusión

El primer resultado que se obtiene después del procesado de todos los datos LiDAR es la nube de puntos que corresponde al escaneo realizado. En la Figura 3 se observa la nube desde un punto de vista cenital. Se diferencian claramente las agrupaciones de puntos correspondientes a los árboles escaneados. Se observa también la poca uniformidad entre los árboles. En algunos de ellos aparece un hueco en el centro, lo que corresponde a la parte central de los árboles que en algunos casos tienen menos hoja debido tipo de poda en vaso que permite una agrupación de las ramas y hojas en la parte externa del olivo, de esa forma se mejora la recolección y se maximiza la producción ya que se consigue exponer el máximo de hojas a la luz solar. También se puede argumentar la menor cantidad de puntos LiDAR en el centro del árbol debido a la dificultad que tiene de penetrar la lectura del sensor LiDAR en el centro del árbol, efecto detectado y definido en Sanz-Cortiella *et al.*, (2011).

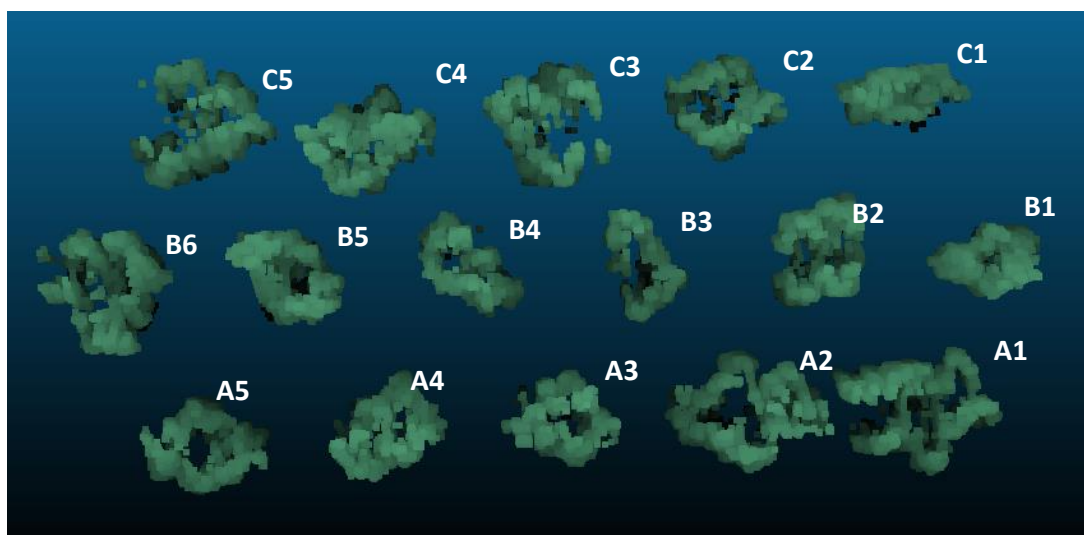


Figura 3. Visualización tridimensional del resultado de escaneo con el sensor LiDAR. Se observa la nube de puntos para la caracterización de cada uno de los árboles individuales. Visualización mediante software CloudCompare.

En la Tabla 2 se exponen los resultados medios, mínimos y máximos de caracterización manual y electrónica de la vegetación. En términos de volumen de copa, parámetro que se tendría en cuenta para un ajuste del volumen de aplicación, es el factor que más difiere en este tipo de árboles. Si se presta atención al Volumen Elipsoide, calculado de forma tradicional, se encuentran árboles desde 80 hasta 131 m³ de vegetación, diferencias suficientes para proponer un ajuste del caldo a aplicar en una aplicación de fitosanitarios. Esas grandes diferencias también se detectan en el caso de determinar el volumen mediante la técnica LiDAR, detectando un rango de volumen entre los 62 hasta los 110 m³. En este caso, el volumen calculado es menor debido a la capacidad de ajuste en la envolvente detectada con el sensor LiDAR. En el caso del parámetro Área Proyectada se detecta un rango amplio aunque no tiene una variación tan importante como se detectaba en el caso de determinación de volumen de copa. El resto de parámetros difieren menos, por ejemplo en el caso de Altura de primera hoja y el caso de Altura total se podría caracterizar la plantación con valores de 0,56 y 4,5 m respectivamente. El Vector medio del perímetro proyectado de la copa también tiene relativa poca variación, eso indica el desarrollo aproximadamente circular con un radio cercano a los 3 metros para este tipo de plantaciones.

Tabla 2. Tabla resumen de los parámetros básicos de la caracterización de la vegetación.

Siglas	Definición y unidades	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
H _{FL}	Altura primera hoja (m)	0,56	0,30	0,80	0,04
H _T	Altura total (m)	4,66	4,10	5,00	0,06
MV	Vector medio (m)	3,08	2,46	3,69	0,10
E _V	Volumen elipsoide (m ³)	80,26	41,11	131,27	6,06
A _{PA}	Área proyectada (m ²)	27,48	17,61	39,23	1,75
V _L	Volumen LiDAR (m ³)	61,88	27,47	110,72	6,25

Aparte de los parámetros básicos que aparecen en la Tabla 2, es interesante conocer también la correlación entre variables, ya que si se pueden establecer correlaciones interesantes se puede optar por escoger un método que conlleve menos tecnología, si no se dispone de ella, o un método más fácil para poder cubrir un área de muestreo mayor. Es por eso que a continuación para este trabajo se establecen las correlaciones entre parámetros y se comparan con las correlaciones establecidas en estudios anteriores.

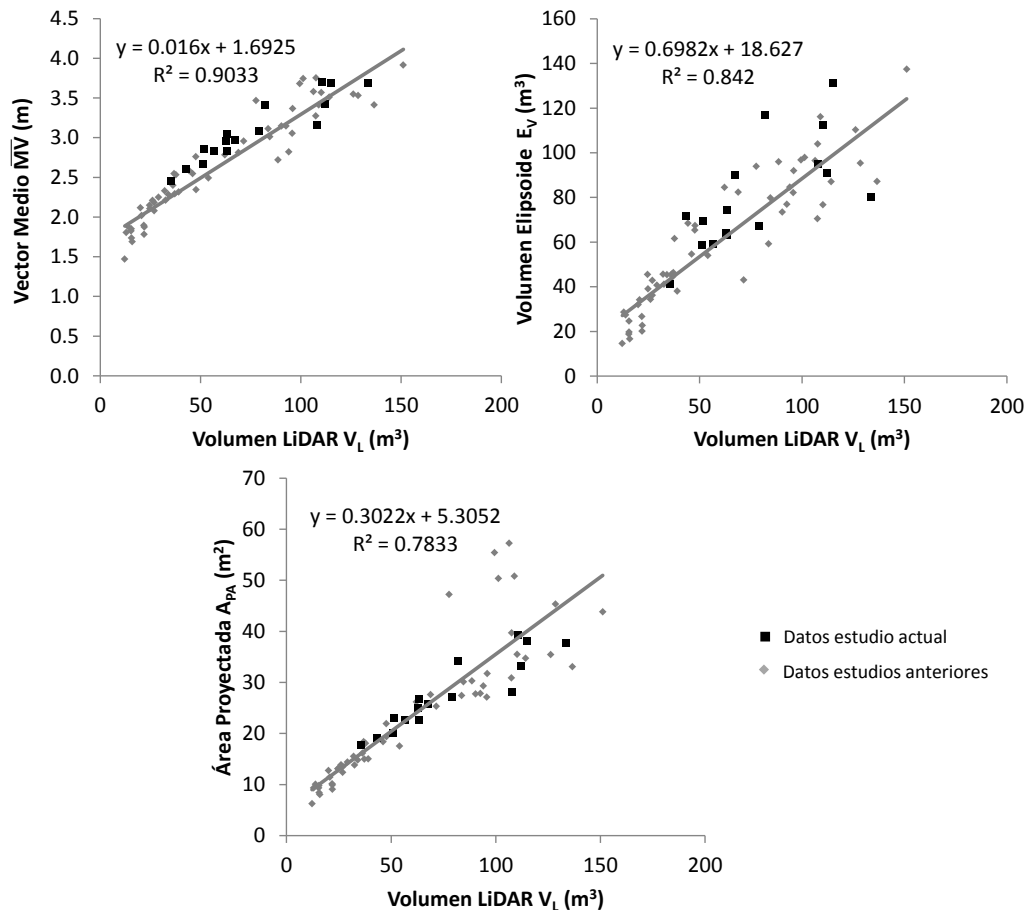


Figura 4. Gráficos de correlación entre variable de caracterización manual respecto a Volumen LiDAR (V_L). Los puntos en gris corresponden a relaciones establecidas en estudios anteriores. Igualmente las funciones corresponden a las correlaciones previamente establecidas. Los puntos en negro corresponden a las medidas del presente trabajo.

En los gráficos de la Figura 4 se presentan las correlaciones entre parámetros de caracterización manual de la vegetación con el Volumen mediante la tecnología LiDAR que se establecieron en el estudio Miranda-Fuentes et al., (2015). Estas correlaciones se presentan en color gris (puntos y recta de regresión) junto con la función de la recta y su coeficiente de correlación (R^2). Sobrepuesta a esta nube de puntos se presentan (en color negro) los puntos correspondientes a los 16 árboles analizados en el estudio actual. En todos los casos se puede ver una clara correspondencia entre la nube de puntos preestablecida con los puntos de los árboles estudiados actualmente. Cabe decir que en el estudio preliminar se evaluó un conjunto importante de olivos en el que se evaluaban distintos tipos de formación de copa, en este caso correspondían a los tipos: intensivo, tradicional de un solo tronco y tradicional exclusivo.

Si se presta atención en la comportamiento de las correlaciones para cada uno de los parámetros, se detecta que el parámetro Volumen Elipsoide vs. Volumen LiDAR es el caso que conlleva una distribución más aparente en todos los volúmenes analizados, esto tiene su explicación en el hecho que se ha comentado previamente en referencia a la dificultad de medir el volumen de copa mediante el método Elipsoide.

En referencia a la correlación de las variables Vector Medio y Área Proyectada se observa una distribución interesante con la mitad de muestras con un volumen inferior,

Volumen LiDAR (V_L) con un rango de 40 a 100 m^3 . En este grupo de muestras se detecta un mejor ajuste a los volúmenes intermedios estudiados en Miranda-Fuentes et al., (2015) que en este caso correspondían a los olivos con formación de copa tradicional de un solo tronco. El resto de árboles, la mitad de muestras con un volumen de copa superior, muestran una disparidad mayor en términos de correlación.

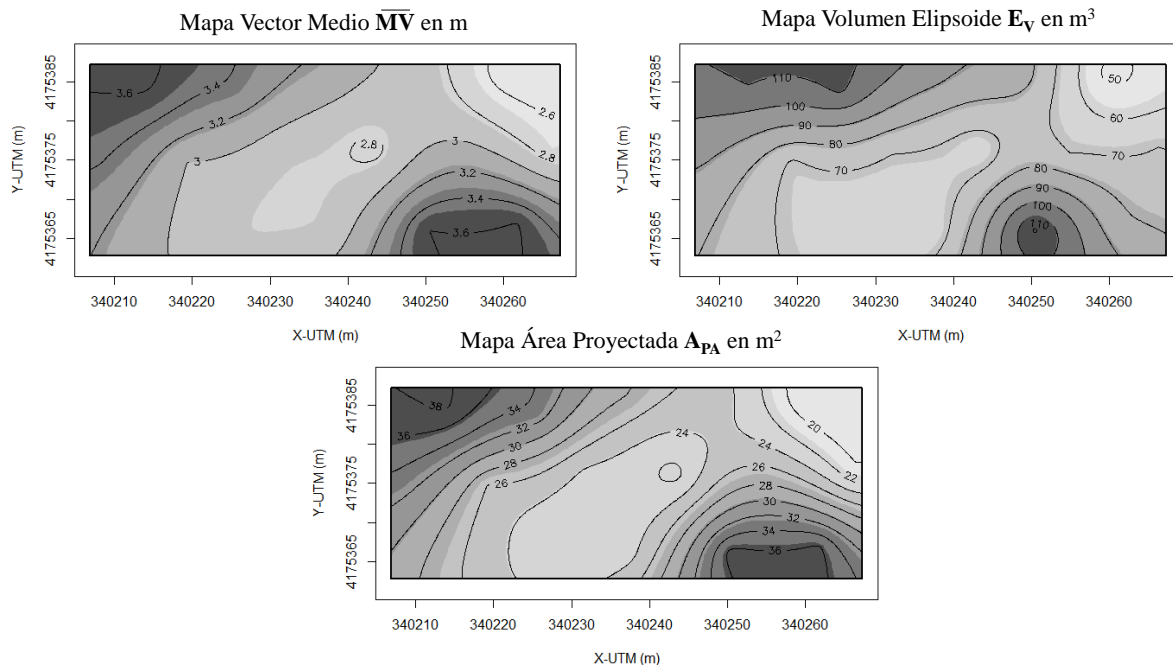


Figura 5. Mapas resultantes de la caracterización manual de la vegetación.

En la Figura 5 se muestran los mapas raster resultantes del kriging con los datos de caracterización manual de la vegetación. En todos ellos se detectan cuatro zonas claramente diferenciadas, dos de ellas con valores máximos en las esquinas superior-izquierda e inferior-derecha del mapa, con la particularidad que este máximo en el caso del mapa del Volumen Elipsoide queda limitada cercano a la coordenada X-UTM 340250 m. Este efecto tiene consecuencia directa a las medidas tomadas a los olivos más grandes A1 y A2 (Figura 3). Las otras dos zonas claramente diferenciadas corresponden a los valores mínimos definidos en este tramo de parcela. Estas dos zonas se encuentran en la diagonal desde la esquina inferior-izquierda hasta la esquina superior-derecha, con un punto de valor intermedio a la altura de los árboles B2 y C2.

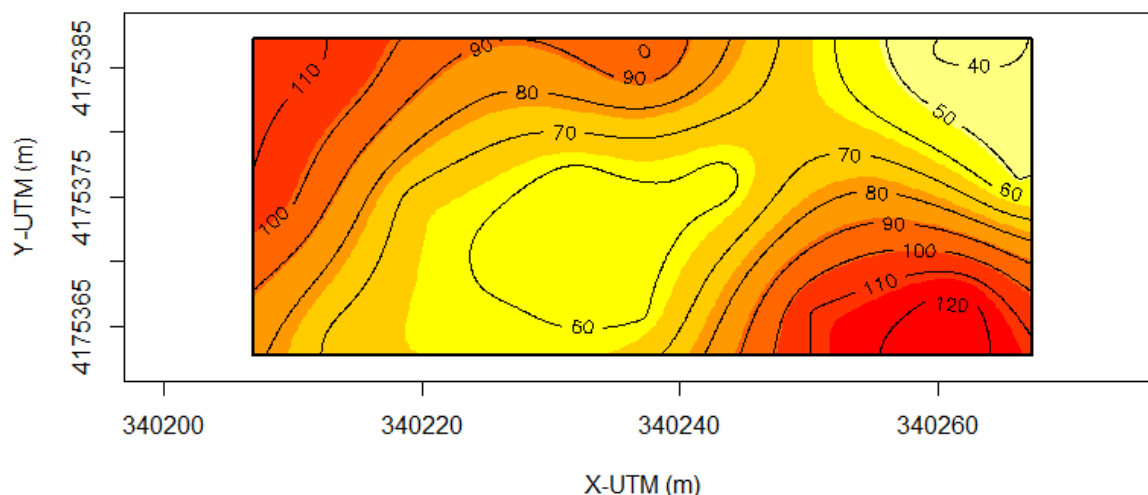


Figura 6. Mapa resultante de la caracterización de volumen de vegetación (en m^3) mediante el análisis de los datos LiDAR tridimensionales.

Como resultado del mapa de vegetación con los datos de la caracterización electrónica mediante sensor LiDAR se presenta el mapa raster que aparece en la Figura 6. En este mapa se distinguen claramente las mismas 4 zonas mencionadas en los mapas de los parámetros de caracterización manual (Figura 5).

Conociendo las buenas correlaciones entre variables de caracterización electrónica y variables de caracterización manual y con el mapa raster que se obtiene del proceso de caracterización mediante tecnología LiDAR, todo ello representa una buena base para la creación de mapas de recomendación de dosis de aplicación de fitosanitarios según el volumen de vegetación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones.

- El procedimiento descrito permite la creación de mapas de vegetación a partir de parámetros vegetativos manuales y con los datos calculados con la información obtenida con el sensor LiDAR.
- Estos mapas representan un paso más en el proceso de conocimiento de la vegetación para un futuro establecimiento de dosis según alguno de estos parámetros.
- El proceso tiene algunos pasos de procedimiento manual que ralentizan el proceso, aunque el avance es importante porque el sistema permite la creación de mapas a partir de un escaneo completo de una parcela.

Para futuros trabajos en el uso de la tecnología LiDAR para la caracterización del olivar se plantea la mejora del sistema en dos fases. La primera correspondiente a la simplificación del proceso manual de delimitación de los árboles objetivo del estudio y su correspondiente automatización. Y en la segunda se prevé evaluar el resultado de aplicación de este procedimiento en el escaneo de una parcela completa y ver su correlación con parámetros de caracterización manual de la vegetación determinados aleatoriamente dentro de la parcela.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad por el soporte financiero del proyecto MECAOLIVAR cofinanciado con fondos FEDER. Igualmente se agradece el soporte de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE). El segundo autor de este trabajo quiere también agradecer al Ministerio de Educación, Cultura y Deportes por el soporte económico a través del Programa Nacional de Formación de Profesorado Universitario (FPU).

Bibliografía

- AEMO. 2012. Aproximación a los costes del cultivo del olivo. Available at <http://www.aemo.es> (verified 15 marzo 2015).
- Castillo-Ruiz, F., M. Pérez-Ruiz, G. Blanco-Roldán, J. Gil-Ribes, y J. Agüera. 2015. Development of a Telemetry and Yield-Mapping System of Olive Harvester. *Sensors* 15: 4001-4018.
- Girardeau-Montaut, D. 2011. CloudCompare, a 3D point cloud and mesh processing. Open Source Project. EDF Research and Development, Telecom ParisTech. Available at <http://danielgm.net/cc/> (verified 1 abril 2015).
- Miranda-Fuentes, A., J. Llorens, J. Gamarra-Diezma, J. Gil-Ribes, y E. Gil. 2015. Towards an Optimized Method of Olive Tree Crown Volume Measurement. *Sensors* 15(2): 3671-3687.
- Moorthy, I., J.R. Miller, J.A.J. Berni, P. Zarco-Tejada, B. Hu, y J. Chen. 2011. Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. *Agric. For. Meteorol.* 151(2): 204-214.
- Ribeiro jr., P.J., y P.J. Diggle. 2001. geoR: a package for geostatistical analysis. *R-News* 1(2): 15-18.
- Rosell, J.R., y R. Sanz. 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Comput. Electron. Agric.* 81: 124-141.
- Sanz-Cortiella, R., J. Llorens-Calveras, J.R. Rosell-Polo, E. Gregorio-Lopez, y J. Palacin-Roca. 2011. Characterisation of the LMS200 Laser Beam under the Influence of Blockage Surfaces. Influence on 3D Scanning of Tree Orchards. *Sensors* 11(3): 2751-2772.
- Villalobos, F.J., F. Orgaz, y L. Mateos. 1995. Non-destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea* L.) trees using a gap inversion method. *Agric. For. Meteorol.* 73: 29-42.
- Xu, W., Z. Su, Z. Feng, H. Xu, Y. Jiao, y F. Yan. 2013. Comparison of conventional measurement and LiDAR-based measurement for crown structures. *Comput. Electron. Agric.* 98: 242-251.

S05 - Caracterización Avanzada de Tanques de Fermentación de Café mediante una Red Multidistribuida de Sensores RFID.

Jiménez-Ariza, T.¹, Correa, E.C.^{2,3}, Díaz-Barcos, V.³, Diezma, B.², Barreiro, P.², Arranz, F.J.⁴

¹ Universidad Agraria de Colombia - Uniagraria 1, 170, Bogotá, Colombia, ² Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en agroalimentación LPF-TAGRALIA 2, evacristina.correa@upm.es ³ Dpto. de Química y Tecnología de los alimentos, ⁴ Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid-CEI Moncloa, Av. Complutense s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain.

Resumen

La fermentación de las bayas de café se considera una etapa crítica en el procesado del café debido a su impacto en la calidad final del producto. La temperatura es una de las principales variables de control que puede ser utilizada para predecir el final del proceso, teniendo en cuenta que varios autores indican que el control de esta etapa es fundamental para evitar la mala calidad de la bebida final. En la práctica, la fermentación es el paso menos controlado del proceso, haciendo que los beneficiaderos operen lejos de sus condiciones óptimas en términos de costes de operación (es decir, elevados consumos de energía y agua) y de calidad del producto final. El objetivo de este trabajo es caracterizar los gradientes de temperatura que se dan en los tanques de fermentación mediante una red multi-distribuida de sensores autónomos, inalámbricos y de bajo coste (registradores de temperatura del tipo RFID, identificadores de radiofrecuencia semipasivos modelo TurboTag®). Para ello se utilizan dos metodologías: la interpolación espacial en coordenadas polares y los diagramas de espacio de fase. Se supervisaron dos fermentaciones reales de café, en El Cauca (Colombia), mediante sensores sumergidos directamente en la masa en fermentación. Los fermentadores eran tanques de plástico cubiertos, uno de ellos colocado en el interior de un almacén, permaneciendo el otro a la intemperie. El rango de variación máximo de temperatura en los tanques fue de 4,5°C. La interpolación espacial mostró, incluso en el fermentador bajo las condiciones menos desfavorables en el interior del almacén, un gradiente radial de temperatura instantáneo de 0,1 °C/cm desde el centro hasta el perímetro del tanque y un gradiente vertical de temperatura de 0,25 °C/cm para sensores con coordenadas polares iguales. La combinación de ambas metodologías permitió la identificación consistente de los puntos calientes y fríos de ambas fermentaciones.

Palabras clave: Gradientes de Temperatura, WSN, Espacio de Fases, Interpolación Espacial, calidad

Advanced Characterization of Coffee Fermenting Tanks by Multi-distributed RFID Sensors

Abstract

The fermentation stage is considered to be one of the critical steps in coffee processing due to its impact on the final quality of the product. Temperature is one of the main control variables, which can be used to predict the end of the fermentation process. Several authors indicate that fermentation must be controlled to limit poor beverage quality. However, in reality, fermentation is the least controlled step of the process, causing production plants to operate far from optimal conditions in terms of both operation costs (i.e. high energy and water consumptions) and final product quality. The objective of this work is to characterize the temperature gradients in a fermentation tank by multi-distributed, low-cost and autonomous wireless sensors (semi-passive TurboTag® radio-frequency identifier (RFID) temperature loggers). Spatial interpolation in polar coordinates and an innovative methodology based on phase space diagrams are used. Two real coffee fermentation processes were supervised in the Cauca region (Colombia) with sensors submerged directly in the fermenting mass. The natural fermentations of coffee were carried out in a covered plastic tank, one of them placed inside a warehouse and the other one remained in the open. Fermentations leading to a 4.5 °C temperature range within the fermentation process. Spatial interpolation shows a maximum instant radial temperature gradient of 0.1 °C/cm from the centre to the perimeter of the tank and a vertical temperature gradient of 0.25 °C/cm for sensors

with equal polar coordinates, in the tank placed inside the warehouse. The combination of spatial interpolation and phase space graphs consistently enables the identification of different local behaviours during fermentations (hot and cold spots).

Keywords: Temperature gradients, WSN, Phase Space, Spatial Interpolation, Food Quality

Introduction

Coffee is one of the most popular and consumed food product in the world. According to the International Coffee Organization, during the 2012-2013 harvest, 145 million bags of 60 kg were produced globally. The quality of coffee beverage is strictly related to the chemical composition of the roasted beans, but also, to postharvest processing (Illy and Viani, 2005). To produce coffee beans suitable for transport and roasting there is a need of segregating the seeds from the outer layers. World-wide, coffee cherries are processed either by “dry” or “wet” method in order to separated the beans from the pulp. In Colombia, Central America and Hawaii, the wet method is preferred for Arabica coffee (Mussatto et al., 2011). In such case, coffee cherries are first depulped in order to remove the skin (exocarp) and the pulp (outer mesocarp), and then after a relative short period of fermentation (24-48 h) a water wash is used to remove the mucilage layer. The beans are then sun-dried to reach 12% moisture content. The main goal of fermentation is to degrade the slimy mucilage adhering firmly to coffee beans (Illy and Viani, 2005), mainly constituted of simple sugar and pectic substrate (Garcia et al., 1991), which are converted to alcohols and organic acids exothermically. The production of these metabolites leads to make a pH decrease (Avallone et al., 2001); a textural change is observed and washing can finally eliminate this mucilage. Masoud and Jespersen (2006) and Peñuela-Martinez et al. (2010) suggest as main control variables temperature and pH, which can be used to predict the end of the fermentation process. Several authors indicate that fermentation must be controlled to limit beverage miss quality (Bede-Wegner et al., 1997; Lopez et al., 1989; Murthy and Naidu, 2011; Woelore, 1993). But actually, fermentation is the least controlled step of the process, which leads production plants to operate far from optimal conditions both in terms of operation costs (i.e. high energy and water consumptions) and final product quality (Barreiro et al., 2010). Research efforts are being exerted, among others, in the development of novel, fast, non-destructive and accurate sensing techniques suitable for on-line process optimization and which could provide information highly correlated to quality properties (Esteban-Diez et al., 2004).

Only a few research, as those carried out by Avallone et al., (2001), Jackels et al (2005), Peñuela-Martinez et al (2010) and (Correa et al., 2014), are related to the control and supervision of coffee fermentation. References affecting automatic systems for controlling fermentations based on wireless sensors are mostly focused on wine. Among them Ranasinghe et al. (Ranasinghe et al., 2013) propose to measure temperature gradient across a fermentation tank with a sensor array constructed to accommodate seven wireless resistance temperature detectors capable of real-time monitoring of fermentation vats, while Di Gennaro et al and Sainz et al (Di Gennaro et al., 2013; Sainz et al., 2013) focus on wireless sensor communication issues.

The objective of this work is to characterize the temperature gradients in two fermentation tanks by multi-distributed, low-cost and autonomous wireless sensors by

spatial interpolation in polar coordinates and an innovative methodology based on phase space diagrams.

Materials and Methods


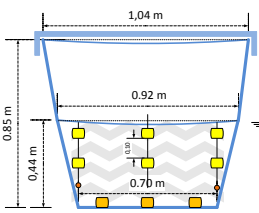

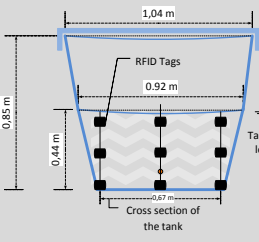
Experimental setup

Coffee cherries (*Coffea arabica* var. Castillo, Borbón and Caturra) were hand-picked at the mature stage in a plantation from Popayán (Cauca, Colombia). External mesocarp was mechanically eliminated immediately after harvesting and depulped bean was left to natural fermentation. The fermentation begun when outside temperature decreases and the process ended according to expert inspection (Table 1).

Two natural fermentations of coffee were carried out in a covered plastic tank (Figure 1), having the shape of a frustum of a cone, placed outside under external ambient conditions (F_{OUT}) during the first fermentation and inside a warehouse (F_{IN}) during the second one. The tank with a top diameter of 1.04 m and height of 0.85 m was filled with depulped coffee cherries to a tank fill level of around 0.44 m (Figure 1). This set-up is one of the possibilities that can be found in the region of Cauca, where heterogeneous tank designs are used depending on the characteristics of each coffee farm.

Figure 1. Images of experiment setup: 1. placement of sensors, 2. filling the tank, 3. fermentation.

Table 1. Characteristics of the fermentations. Schemes of the sensors distribution in the tanks.

Date Amount	Fermenter location	Sensors location	Sensors number	Temporal resolution	Fermentation time
May 2011 230 kg of depulped coffee cherries	 Outside		21 (20 correctly collected data)	2 min/data 588 data points per sensor	19.2 h From 17:43 pm to 12:40 am
October 2011 276 kg of depulped coffee cherries	 Inside a wharehouse		27 (23 correctly collected data)	2 min/data 504 data points per sensor	16.8 h From 17:00 pm to 9:50 am

The multidistributed sensor network consisted of TurboTag® RFID Tags temperature loggers; each Tag was protected by a resistant plastic material to guarantee the impermeability, as to avoid electrical shortcut derived from immersion in the fermenting mass. To remove the insulating effect of the air within the protective bag, it was drawn out through vacuum. The range and accuracy of temperature RFID tags is from -30°C to $+40^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. All communications with T-700 series tags are carried out using an RFID reader DR-1 (RFID Interface 13.56 MHz). This is a small desktop USB device for use with a PC that runs with Session Manager Software. Due to an internal memory available of 702 data points, it used a high temporal resolution (Table 1). The sensors were equispatially distributed along 8 radii (Table 1), and three horizontal planes parallels to the floor (ground, medium and surface levels). On each plane 8 sensors were placed at 0.33m and one more at center (9 tags/plane), except for the ground plane in F_{OUT} where only were installed 3 tags at 0.15m of radius. Due to battery failure and/or configuration mistakes in F_{IN} 2 perimeter tags on medium plane (Figure 4) and 2 tags more at surface plane and in F_{OUT} 1 tag located on medium plane did not recorded correctly the data. An additional tag was placed out of the vat in both fermentations to register the ambient temperature.

Data analysis

In order to facilitate the handling of data from the 23 RFID Tags in F_{IN} and from the 20 RFID Tags in F_{OUT} , a hierarchical clustering based on temporal series was performed to define groups of sensors. The matrix of Euclidean distances between each pair of individuals was calculated, grouping the closest individuals and hierarchically merging groups (or individuals) whose combination gave the smallest average linkage distance (that is, average distance between all pairs of objects in any two clusters). A MatLab® devoted code was developed to generate groups of sensors on the basis of the cluster tree features. To analyze recorded data two different and complementary procedures were implemented.

First, polar interpolation using dedicated Matlab code was developed as to make 2D spatial representations of the temperature profiles corresponding to the three horizontal planes defined in the tank. Prior knowledge on the location of each tag in the plane allowed defining the polar coordinates values: radius (0 cm or 33 cm) and angle (0 to 2π radians at $2\pi/8$ radians steps), and generating an interpolation mesh grid (resolution of spatial mesh increase by one order of magnitude). The interpolation mesh grid is used under the Matlab function INTERP2 to compute the interpolated temperature values, at the points defined in the new mesh grid. In those polar coordinates where the RFID tags did not recorded temperature data, the average of temperatures between the previous and next polar coordinate was consigned previously to the interpolation operation. The function INTERP2 returns interpolated values of a function of two variables at specific query points using linear interpolation. The results always pass through the original sampling of the function. In the input of the function it have to be consigned the coordinates of the sample points, the values of the temperature in these points and the coordinates of the interpolation mesh grid. The Matlab function CONTOURF allows drawing 2-D surface plots with isolines representing equal temperatures and areas between isolines using constant colors. In our case 50 and 150 steps between the minimum and the maximum temperatures registered during the fermentation process were represented.

Secondly, the reconstruction of the phase space from the time series was carried out as is described in (Correa et al., 2014). Following Eckmann and Ruelle [see Sec. II-G in (Eckmann and Ruelle, 1985)], the best way to reconstruct the phase space from a time series is by using *time delays*. The technique is as follows. Let be the experimental time series $Y_1^{(k)} = y_1(t_k)$, with $k = 1, 2, \dots, M$, corresponding to M periodic measures (i.e., measures with fixed time step $\tau = t_{k+1} - t_k$) of the physical magnitude y_1 . Then, we can reconstruct the whole phase space including the remaining magnitudes (y_1, y_2, \dots, y_N) , in the discrete form of the corresponding time series $(Y_1^{(k)}, Y_2^{(k)}, \dots, Y_N^{(k)})$, by making $Y_i^{(k)} = Y_1^{(k+\Delta_i)}$ with $i = 1, 2, \dots, N$ and $\Delta_1 = 0$, where each non negative integer Δ_i defines a time delay $t_{d_i} = t_{k+\Delta_i} - t_k = \Delta_i \cdot \tau$. In this work, two-dimensional ($N = 2$) phase space representations have been obtained by plotting the measured temperature $T(k)$ at each time $t(k)$ versus the temperature $T(k+\Delta)$ at time $t(k+\Delta)$, with optimum $\Delta = 10$ set up by heuristics. In this case, the data acquisition interval (i.e., the fixed time step of the time series) is $\tau = 2$ min., so that the corresponding time delay is $t_d = \Delta \cdot \tau = 20$ min. The area of the trajectory loops corresponding to one sensor or group of sensors has been computed by using the Matlab function *convhulln*. The software STATISTICA 6.1 (StatSoft, Inc) and the statistical toolbox of Matlab® version 7.0 (R14) were used to compute basic statistics as the mean, standard deviation and standard error and to carry out the analysis of variance.

Results and Discussion

Temporal information

Table 2 presents the dynamic of temperatures inside the vats registered by RFID tags along the complete fermentation process. Taking into account all data, the average fermentation temperature for F_{OUT} ($n=20$ Tags) was 20.3°C while for F_{IN} ($n=23$ Tags) was 21.2°C, values similar to that reported by Avallone et al. (Avallone et al., 2001) for a 20 h fermentation under similar conditions. In both cases, the temperature inside the tanks was higher than outside during most of the fermentation step due to the activity of the mesophile microflora as referred in previous studies (Avallone et al., 2001). The lowest temperature registered was for F_{OUT} 18.3°C and for F_{IN} 19.0°C, while the maximum temperature was registered in the surface plane of the vats in both cases (23.2°C for F_{OUT} and 23.6°C for F_{IN}). As corresponds to a fermentation process that takes place spontaneously under ambient temperature conditions, lower external temperatures induce minor fermentation temperatures and a decrease in microorganism kinetics delaying the end of the fermentation, being the fermentation time 2.4 hours longer for F_{OUT} .

The average standard deviation was for F_{OUT} $\pm 0.6^\circ\text{C}$ (SD, $n=20$ sensors) and for F_{IN} $\pm 0.36^\circ\text{C}$ (SD, $n=23$ sensors), indicating that along this fermentation the temporal variability of the temperature or intrasensor variability is lower than in F_{OUT} . On the other hand, the average spatial SD calculated for sensors at different locations for the same instant, was for F_{OUT} $\pm 0.64^\circ\text{C}$ ($n=588$ time data) while F_{IN} doubled that value ($\pm 1.21^\circ\text{C}$, $n=504$ time data), showing that the spatial temperature variability or variability intersensor was higher in this second fermentation.

In the clustering procedure five groups were identified in both fermentations (Table 3). In F_{IN} groups were labeled from A to E. Group A, consisting of 3 RFID Tags, corresponds to the hottest locations inside the tank (surface and medium plane at the center). Group B corresponding to 10 RFID Tags refers to peripheral location at surface and medium plane. Group C only includes one sensor near to the average fermentation temperature and located in the medium plane. Group D with 7 RFID Tags located at the floor of the tank. Finally group E with 2 sensors at the coldest location on floor plane.

In F_{OUT} groups were labeled from F to J. Group F, consisting of 2 RFID Tags, corresponds to the hottest locations inside the tank (surface and medium plane at the center). Group G corresponding to 4 RFID Tags refers to peripheral location at surface and medium plane. Group H with 5 RFID Tags, 3 located at the floor of the tank and 2 in peripheral location at medium plane. Group I with 4 RFID Tags at peripheral location at surface plane. Finally group J with 4 sensors at surface and medium plane which reached the coldest temperatures. The one-way analysis of variance (ANOVA) carried out (Figure 2) showed that the five groups selected in both fermentations were significantly different (F_{IN} with $F=72.16$ and F_{OUT} with $F=11.18$, $p<0.05$), identifying locations of different temperature behavior in the tank along the fermentation process.

Spatial information

A two-way ANOVA was carried out to analyze the effect of two factors: height and radial distance with no significative interaction in both fermentations. In F_{IN} the analysis showed that height had a relevant effect ($F=41.4$, $p<0.05$) on fermentation temperature with a decreasing vertical temperature gradient from the top of the vat to the floor (Figure 3), however this effect was not found in F_{OUT} . On the other hand, the radial distribution of sensors (center and peripheral) was significative and similar in both fermentations, for F_{IN} $F=17.9$ ($p<0.05$) and F_{OUT} with $F=16.9$ ($p<0.05$), and indicated that the highest values of temperature were reached at the center of the vat (Figure 3).

Table 2. (left) Dynamics of temperature inside the vat along the fermentation step, each colored line corresponds to one RFID Tag. (right) Red line represents the temperature registered outside the tank. Thin blue line shows the average instant temperature and thick blue lines the average instant standard deviation ($n=20$ sensors for F_{OUT} and $n=23$ sensors for F_{IN}) along the fermentation process.

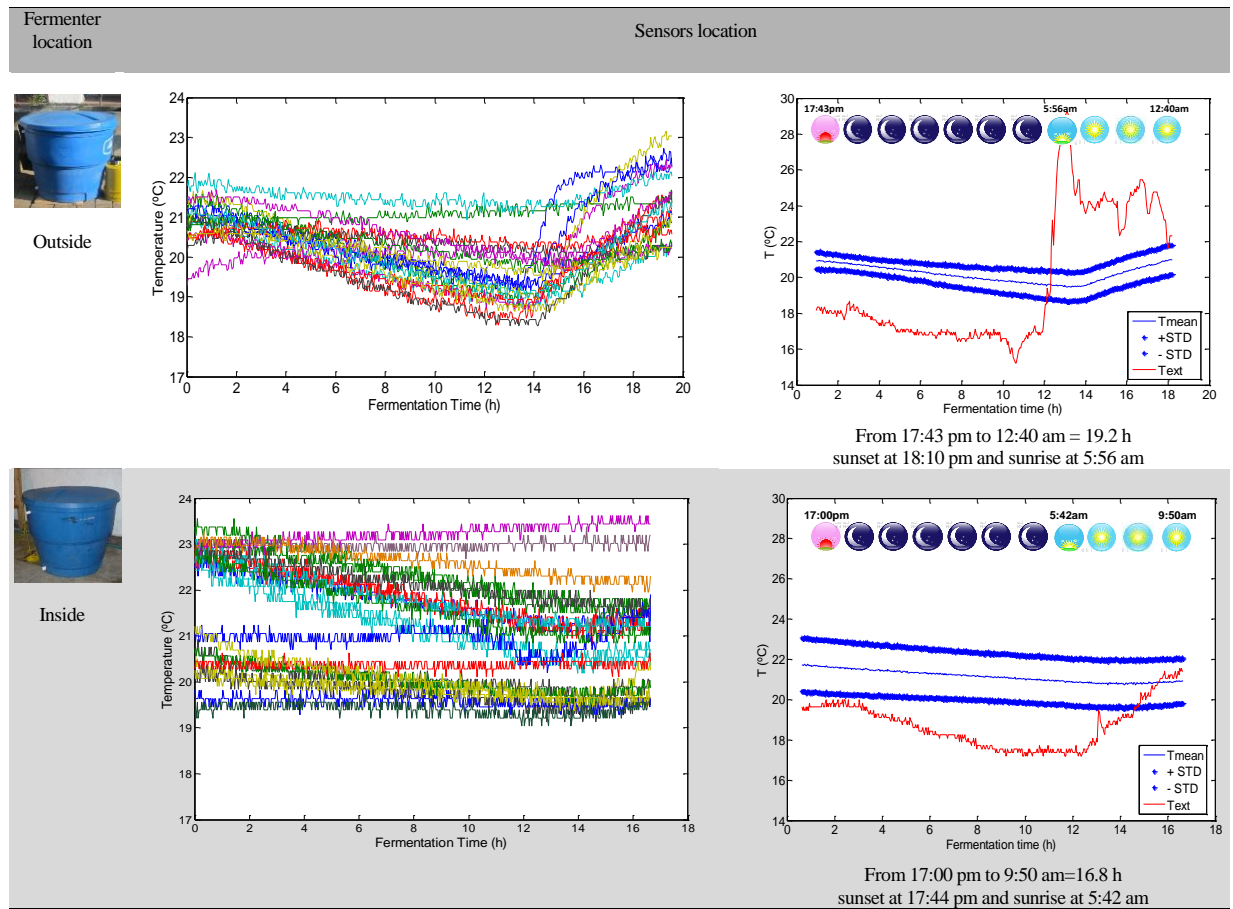


Table 3. Shows the RFID Tags clustered by group, its placement in the tank at different heights or levels (M : medium, S : surface, F : Floor) and on the radius (C : center, P : perimeter). The correlation coefficient r of pearson for each Tag located inside the tank with respect to the Tag located outside is also shown (red color indicates a significant correlation).

	F _{IN}																							
Group	A			B										C	D								E	
Tag ID	5	12	20	1	2	3	4	9	10	11	19	22	24	16	6	7	13	14	17	18	21	8	23	
Level	M	S	S	S	S	S	M	S	M	S	M	M	M	M	F	F	F	F	F	F	F	F	F	
Radius position	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	C	P	P	P	
r	0.16	0.00	0.01	0.26	0.14	0.18	0.21	0.09	0.18	0.21	0.23	0.12	0.21	0.36	0.10	0.17	0.55	0.19	0.24	0.15	0.17	-0.04	0.26	

	F _{OUT}																			
Group	F		G				H					I				J				
Tag ID	9	11	1	5	6	15	7	12	16	17	20	2	4	8	19	3	10	13	14	18
Level	M	S	M	M	S	S	F	F	M	F	M	S	S	S	S	M	M	S	S	M
Radius position	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
r	0.65	0.07	0.53	0.39	0.24	0.41	-0.70	-0.18	-0.56	-0.49	-0.48	-0.27	-0.29	-0.09	-0.33	0.21	0.15	-0.20	0.07	-0.09

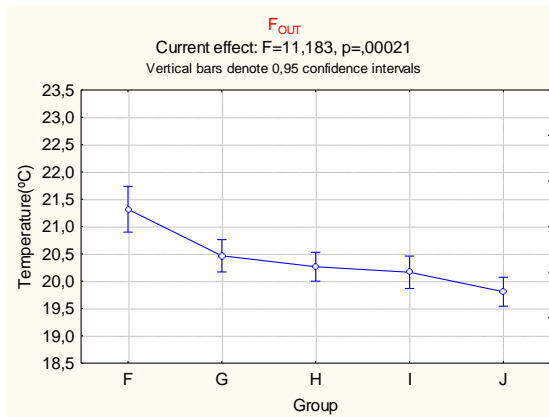
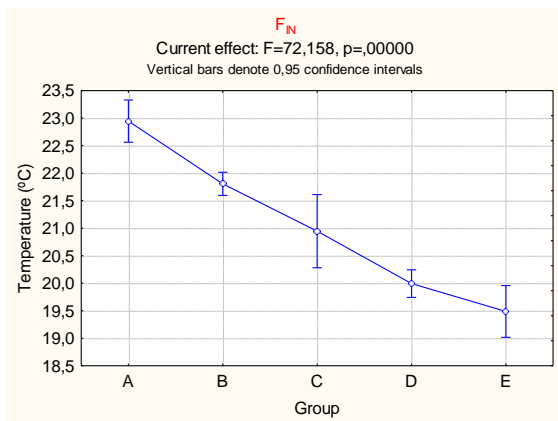


Figure 2. Least-squares mean graphs present the results of the one-way ANOVA and show the effect of factor “Group of sensors” on the variable “Temperature”.

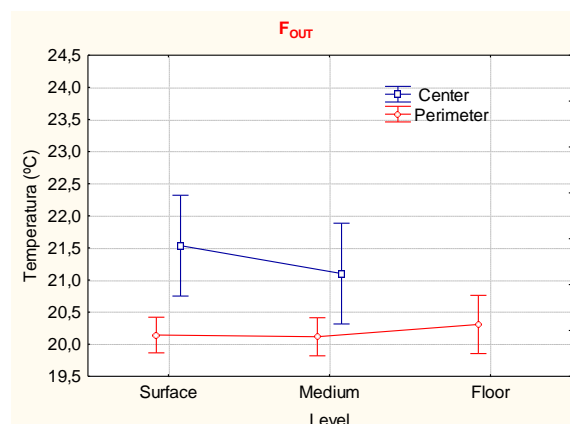
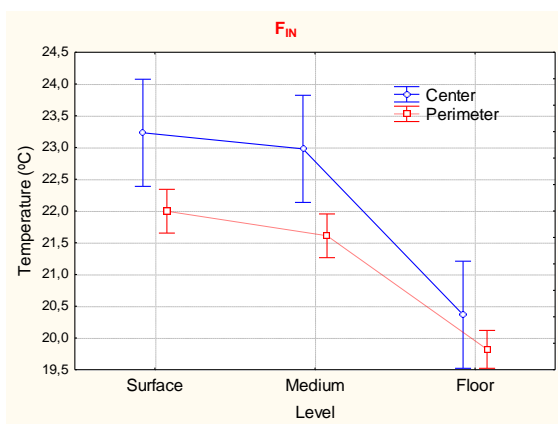


Figure 3. Least-squares mean graph presents the result of the two-way ANOVA and shows the effect of the factors “Level” or placement of sensors in the tank at different heights (surface, medium or floor) and placement of sensors at the radius (center or perimeter) on the variable “Temperature”. Vertical bars denote 0.95 confidence intervals.

The existence of those temperature gradients is corroborated by Figure 4 that shows the spatial distribution of temperatures in each plane of the tank at the beginning, the middle and the end of the fermentations process. At time $t=0$, the beans heated due to mechanical removal of pulp, were transferred to the fermentation vat. At this step temperature is high and homogeneous compared to other fermentation steps, which takes place over night. At this time only the bottom of the vat presents lower temperature than the other two planes due to the heat conduction through the concrete floor. Figure 4 shows that along the fermentation process surface and medium plane maintain a similar temperature profile. In F_{IN} the main vertical gradient of temperature occurs from the medium plane to the floor plane, between them the average temperature difference is 2°C in 15 cm height, with a maximum instant variation of 3.8°C for sensors with equal polar coordinates (temperature gradients of $0.25^{\circ}\text{C}/\text{cm}$). Such variation is comparable to that found in other fermentation processes (red wine) where automated control is recommended based on vertical temperature gradients instead of time control. Ranasinghe et al. (Ranasinghe et al., 2013) limits to 5°C the maximum vertical allowed variation. While in F_{OUT} due to sensors setup in the vat, it is not possible to calculate the vertical gradient between the medium and floor planes at locations with equal polar coordinates. This calculus made between the surface plane and medium plane reaches a maximum vertical gradient of 1.6°C in 29 cm ($0.055^{\circ}\text{C}/\text{cm}$), much lower than those

found for F_{IN} . Figure 4 also shows that for every plane and every fermentation time there is a radial gradient of temperatures as corresponds to a radial heat transfer from a pseudo-cylindrical vat to the surrounding air. The maximum instant radial gradient of temperatures has been quantified as $0.1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ from the center to the perimeter of the tank in both fermentations (3.3°C for F_{IN} and 3.2°C for F_{OUT} , in 33 cm of radius). Also in Figure 4, once the fermentation begins, at the middle and at the end of the process, images corresponding to surface plane and medium plane are defined with a progressively higher number of contour lines than for the floor plane, indicating higher gradients for the former compared to the latter.

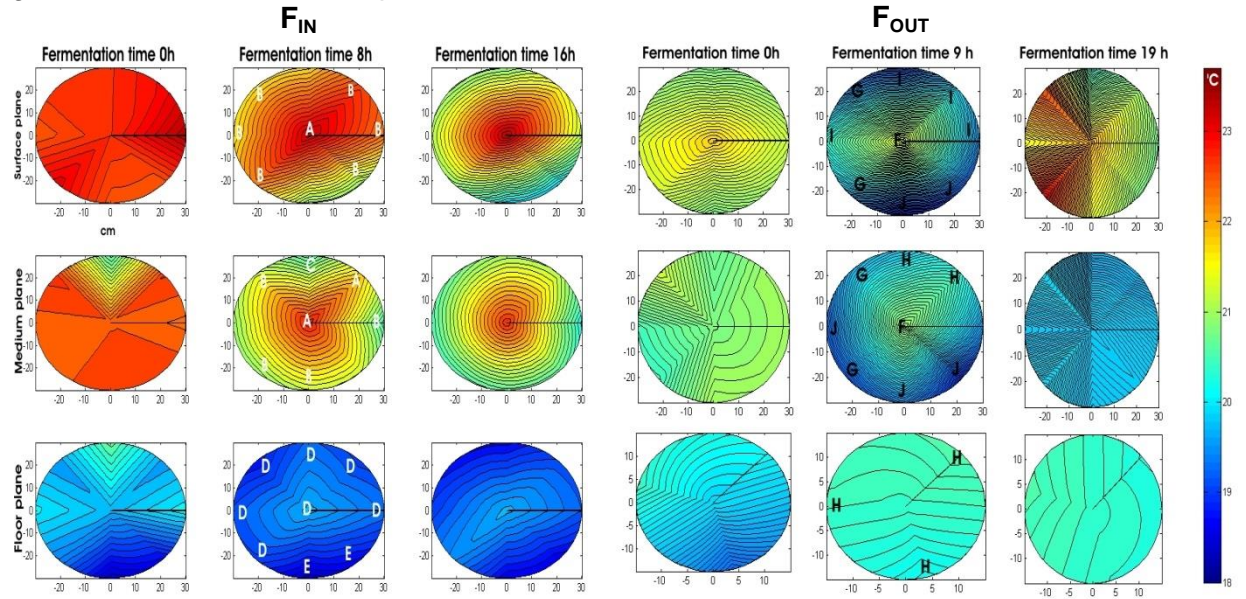


Figure 4. 2D surface plot of the temperatures interpolated along the radius of the tank (0-33 cm) for the three planes or height levels defined in the vat (surface, medium and floor). Three time instants have been selected, the beginning of the fermentation step (time 0 hours), the middle and the end of the fermentation process. The location of the sensors on each plane according to the group to which they belong is also shown.

On the other hand, Figure 5(up) shows the phase graph of temperature series along the complete fermentation ($\Delta=10$, $t_d = 10(\text{step})2(\text{min}/\text{step}) = 20\text{min}$) for the five clusters of sensors identified in both fermentations. Sensors belonging to the same group appear in the same color and in the same region of the phase graph. The areas of the polygons that include all the data points of each individual sensor on phase graph quantify the variability of the temperature for each location. Groups A and F with an average temperature of 22.9°C and 21.3°C respectively, refer to the hottest points of the tank located mainly in the center of the vat. Those sensors also characterize one of the most stable temperature areas of the tank as indicated by the small average area on the phase space (0.39°C^2 in F_{IN} and 0.51°C^2 in F_{OUT} , $\Delta=10$; Figure 6 down).

With respect to the floor of the vat, groups D plus E and H are clustering sensors located on the floor plane, showing a small average area (0.57°C^2 in F_{IN} and 0.56°C^2 in F_{OUT} , $\Delta=10$; Figure 6 down). This identified the floor plane with one of the more stable temperature locations inside the vat. Groups D and E showed an average temperature of 19.7°C and are located on the base of their phase graph (Figure 6 up), thus they provide the coldest points when the vat is placed inside the warehouse. This is due to the heat conduction to the concrete floor of the warehouse which is colder than the quasi-static air surrounding the vat. On the other hand, group H is located in a medium position in its

phase graph with an average temperature of 20.3°C and is identifying a location where the temperature is stable and high throughout the fermentation process F_{OUT} . This is due to the heat conduction to the concrete floor of the outdoor, soil stays warmer than the air streams surrounding the vat during night. Groups B, G, I and J that include peripheral RFID Tags located at the surface and medium plane, can be identified as the zones subjected to the highest temperature gradients as shown by their largest average area on the phase space, 1.1 °C² for group B in F_{IN} and 2.3 °C² for groups G, I and J in F_{OUT} ($\Delta=10$; Figure 6 down). This is especially remarkable in the case of the group G in F_{OUT} , which presents an area of 3 °C². The direct exposition of this area to the air streams surrounding the vat makes it the most affected for the external ambient conditions, as it is corroborated by the highest average coefficient of correlation $r=0.4$, found for the sensors of this group with the external tag.

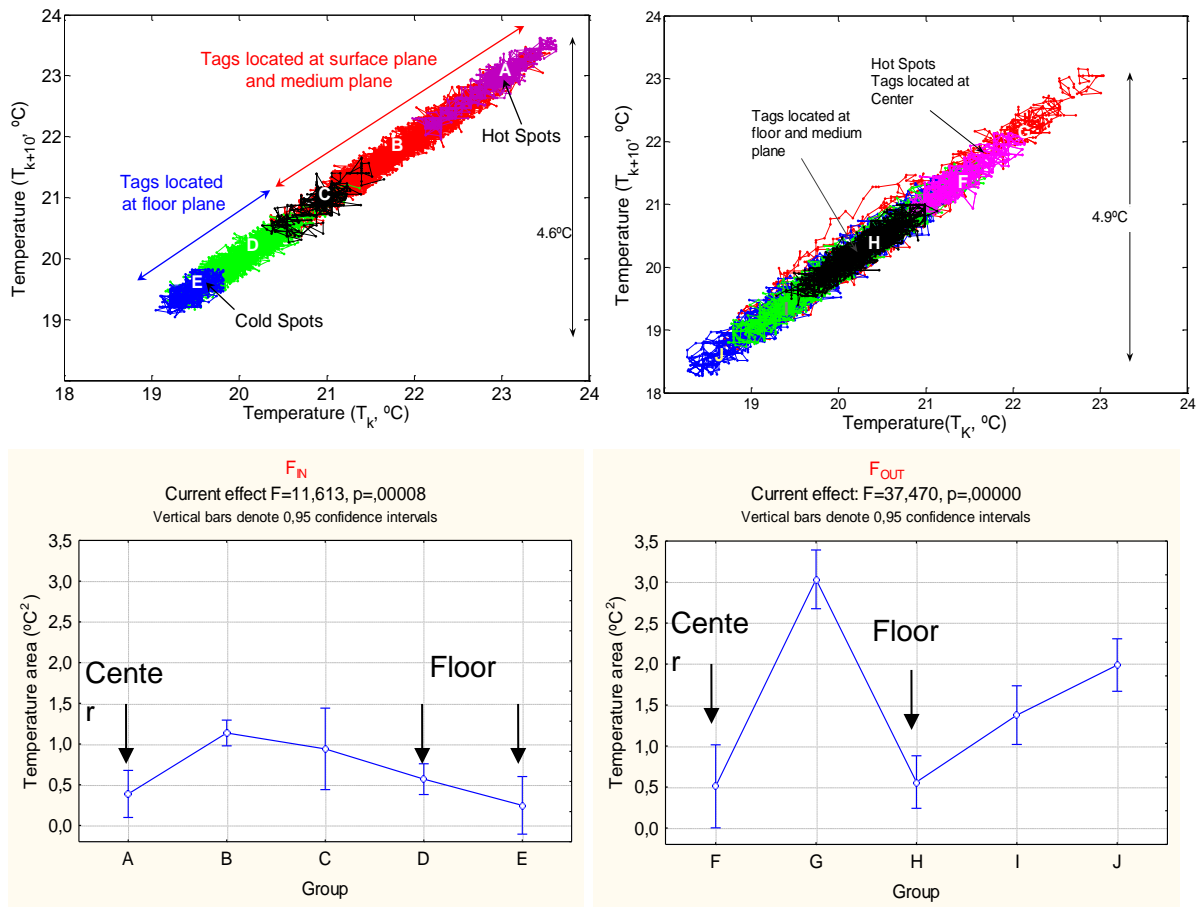


Figure 5. (Up) Phase graph for temperature with $\Delta=10$ ($t_d = 10(\text{step})2(\text{min/step}) = 20\text{min}$) for RFID Tag sensors in F_{IN} (left): group A (magenta), group B (red), group C (black), group D (green) and group E (dark blue); and in F_{OUT} (right) group F (magenta), group G (red), group H (black), group I (green) and group J (dark blue). (Down) Least-squares mean graphs present the result of the one-way ANOVA showing the effect of the factor “Group of sensors” on the variable “Temperature area” corresponding to the areas computed on the phase graph shown in the upper part of this figure for each sensor.

Conclusions

This work shows spatial interpolation and phase space graphs as novel methodologies that demonstrate that significant temperature gradients occur within coffee fermenting tanks. The use of these two complementary methodologies allows identifying a variety of

consistent behaviors during fermentation that can be quantitatively characterized. The maximum range of temperature variation has been bounded by RFID Tags higher than 4.5°C in both fermentations. Spatial interpolation shows that there is a consistent radial gradient of temperature that has been quantified as 0.1°C/cm from the center to the perimeter of the tank. Phase graphs of temperatures allow the recognition of hot and cold spots. The area of the attractors computed within the temperature phase graphs is used as an indicator of the temperature variability. The average area for peripheral tags (1.1 °C² for F_{IN} and 2.3 °C² in F_{OUT}) located at surface and medium plane, identifying the zone of the vat subjected to the highest variations of temperature. On the other hand, the floor plane and the center of the vat, with areas that can reach values between 4 and 6 times minors, are identifying the locations in the vat with higher temperature stability. The temperature gradients found are the results of two combined effect: 1) the heat dissipation from a tank without isolation by convection towards the outside environment mainly in radial direction, and by conduction to the concrete floor, and 2) the different kinetics of the exothermic reactions depending on the distribution of temperatures and nutrients in the fermenting mass. The two fermentations supervised are characterized to heterogeneous temperature fermentation along the process and a strong influence of the external ambient conditions. This could result in heterogeneity of fermented grain aromatic compounds that will influence the sensory characteristics of the coffee cup. The lack of control favors the development of sensory defects in the final product, since they may lead to local over-fermentations in hot spots together with incomplete fermentations at the coldest locations.

Acknowledgments

This study was funded by the Spanish Government through SMART-QC project (GL2008-05267-C03-03), UPM projects COFFEE-ONLINE (AL15-PID-12) and CAFECOL (AL11-PID-30) and the International Net of CYTED FRUTURA (109RT0383). We wish to thank too for their support to the companies SUPRACAFÉ_España and SUPRACAFÉ_Colombia and their staffs, the Technical University of Madrid and the International Campus of Excellence CEI Moncloa/UPM-UCM.

References

- Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J. M., Olguin, E., and Guiraud, J. P. 2001. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current Microbiology* 42, 252-256.
- Barreiro, P., Correa, E. C., Arranz, F. J., Diezma, B., Ruiz-García, L., Villarroel, M., Robla, J. I., and García-Hierro, F. J. 2010. Smart Sensing Applications in Agriculture and Food. In "Smart Sensors: Technology, Developments and Applications" (I. N. Y. Nova Science Publishers, ed.).
- Bede-Wegner, H., Bendig, I., W., H., and R., W. 1997. Volatile compounds associated with the over-fermented flavour defect. In "17th International Scientific Colloquium on Coffee", pp. 176-182. Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), Nairobi.
- Correa, E. C., Jimenez-Ariza, T., Diaz-Barcos, V., Barreiro, P., Diezma, B., Oteros, R., Echeverri, C., Arranz, F. J., and Ruiz-Altisent, M. 2014. Advanced Characterisation of a Coffee Fermenting Tank by Multi-distributed Wireless Sensors: Spatial Interpolation and Phase Space Graphs. *Food and Bioprocess Technology* 7, 3166-3174.

- Di Gennaro, S. F., Matese, A., Primicerio, J., Genesio, L., Sabatini, F., Di Blasi, S., and Vaccari, F. P. 2013. Wireless real-time monitoring of malolactic fermentation in wine barrels: the Wireless Sensor Bung system. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19, 20-24.
- Eckmann, J. P., and Ruelle, D. 1985. Ergodic-theory of chaos and strange attractors. *Reviews of Modern Physics* 57, 617-656.
- Esteban-Diez, I., Gonzalez-Saiz, J. M., and Pizarro, C. 2004. Prediction of sensory properties of espresso from roasted coffee samples by near-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta* 525, 171-182.
- Garcia, R., Arriola, D., Dearriola, M. C., Deporres, E., and Rolz, C. 1991. Characterization of coffee pectins. *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 24, 125-129.
- Illy, A., and Viani, R. 2005. "Espresso Coffe: The Chemistry of Quality," Academic Press Limited, U.K.
- Jackels, S. C., and Jackels, C. F. 2005. Characterization of the coffee mucilage fermentation process using chemical indicators: A field study in Nicaragua. *Journal of Food Science* 70, C321-C325.
- Lopez, C. L., Bautista, E., Moreno, E., and Dentan, E. 1989. Factors related to the formation of 'overfermented coffee beans' during the wet processing method and storage of coffee. In "13th" (A. S. I. D. C. (ASIC), ed.), pp. 373-384, Paipa, Colombia.
- Masoud, W., and Jespersen, L. 2006. Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa. *International Journal of Food Microbiology* 110, 291-296.
- Murthy, P. S., and Naidu, M. M. 2011. Improvement of Robusta Coffee Fermentation with Microbial Enzymes. *European Journal of Applied Sciences* 3, 130-139.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., and Teixeira, J. A. 2011. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology* 4, 661-672.
- Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros- Tascón, C. E., and Sanz-Urbe, J. R. 2010. Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural. *Cenicafé* 61, 159-173.
- Ranasinghe, D. C., Falkner, N. J. G., Chao, P., and Hao, W. 2013. Wireless Sensing Platform for Remote Monitoring and Control of Wine Fermentation. In "2013 IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing" (M. Palaniswami, C. Leckie, S. Kanhere and J. Gubbi, eds.), pp. 503-508.
- Sainz, B., Antolin, J., Lopez-Coronado, M., and de Castro, C. 2013. A Novel Low-Cost Sensor Prototype for Monitoring Temperature during Wine Fermentation in Tanks. *Sensors* 13, 2848-2861.
- Woelore, W. M. 1993. Optimum fermentation protocols for Arabica coffee under Ethiopian conditions. In "15th International Scientific Colloquium on Coffee" (A. s. i. d. c. (ASIC), ed.), pp. 727-733, Montpellier.

S06 - Evaluación de los sensores ultrasónicos para medidas a copa en olivar.

Miranda-Fuentes, A.^{1*}, Gamarra-Diezma, J.L.¹, Cuenca, A.¹, Llorens, J.¹, Rodríguez-Lizana, A.², Guillén-Dana, A.¹, Blanco-Roldán, G.L.¹, Gil-Ribes, J.A.

¹ Universidad de Córdoba, Área de Mecanización y Tecnología Rural, Dpto. de Ingeniería Rural. Córdoba 14005, España; E-Mail: ir2llcaj@uco.es (L.J.)

² Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Sevilla, Ctra. de Utrera, km 1. 41013 Sevilla, España.

Resumen

Los sensores ultrasónicos son habitualmente empleados para medir distancias en condiciones de campo por su robustez y bajo coste. En el caso del olivar, especialmente en el sistema de cultivo tradicional, es obligatorio el empleo de sensores de amplio rango por los amplios arcos de plantación que hacen necesario leer a gran distancia. El propósito del estudio fue el de evaluar, en olivar, un sensor ultrasónico de amplio rango (0.4 - 6 m) en condiciones de laboratorio y campo frente a diferentes problemas reportados en la bibliografía. Se determinó la amplitud del cono de lectura y la interferencia entre dos sensores leyendo de forma simultánea, y se validó la calibración del sensor en condiciones de campo. Los resultados muestran que el sensor presenta un cono de lectura menor en el caso de olivar que para otros materiales, lo que hace que sus lecturas sean más precisas. En el caso de la interferencia, la separación mínima entre sensores montados en un mástil vertical debe ser de 1.3 m si se quiere garantizar la fiabilidad de las lecturas. Además, se comprobó que la calibración realizada en laboratorio es totalmente válida para condiciones reales de lectura en campo.

Palabras clave: Sensores de ultrasonidos, error de lectura, precisión de medida, interferencia entre sensores.

Testing ultrasonic sensors for canopy measurement in olive.

Abstract

Ultrasonic sensors have been widely used to measure distance in field conditions because of their toughness and low cost. In the case of olive, especially in the traditional crop system, the use of long-range sensors is mandatory due to the long tree spacing that make necessary to measure long distances. The aim of the study was to evaluate, for olive tree canopies, a long-range ultrasonic sensor (0.4 – 6 m) in laboratory and field conditions for different problems already reported in the bibliography. It was determined the width of the sound cone and the interference between two sensors measuring simultaneously. Results show that the sound cone is narrower for olive canopy than for other materials, what makes measurements more accurate in this case. As to the interference, it was determined that, when mounted on a vertical mast, the minimum sensor spacing to avoid interference problems should be 1.3 m. Furthermore, it was confirmed that the laboratory calibration is completely valid for real field conditions.

Keywords: Crop parameters, olive tree, sensor, crown volume.

Introducción

La aplicación de productos fitosanitarios en olivar es una operación poco tecnificada en la que se emplean equipos y tecnologías desarrolladas para otros cultivos e incluso aplicaciones diferentes. En el mercado actual, el único medio realmente implantado en el mercado de cara a mejorar la eficiencia de las aplicaciones es el sensor ultrasónico, que se monta en los laterales del atomizador y, cuando detecta un objeto dentro de un rango pre-programado, permite el paso de caudal hacia las boquillas, permaneciendo cerrado el resto del tiempo. De esta forma se pretende que el equipo pulverice sólo ante la presencia de vegetación.

El empleo del sensor ultrasónico viene justificado por su rusticidad, simplicidad de manejo y coste asequible (Llorens *et al.*, 2011; Rosell y Sanz, 2012). Además, han demostrado tener una precisión aceptable en aplicaciones en otros cultivos (Tumbo *et al.*, 2002). Como principales inconvenientes están su pérdida de precisión por distintos factores, como la escasa resolución a la hora de caracterizar volúmenes de copa (Rovira-Más *et al.*, 2005) y los errores producidos por la forma irregular de la copa y por la interferencia existente entre sensores próximos. Estos errores se producen porque la propagación del sonido no es lineal, sino con forma cónica, aumentando el área de impacto o spot conforme nos alejamos del sensor. Así, el sensor detectará el primer objeto dentro del spot con una superficie suficiente como para devolver una fracción predeterminada del sonido emitido.

Estos inconvenientes han llevado a diversos estudios para determinar la precisión de estos sensores (Escolà *et al.*, 2011; Jeon y Zhu, 2012). En ellos se ha determinado que, bajo determinadas circunstancias, los sensores pueden llevar a cabo medidas bastante imprecisas.

El caso del olivar es especialmente complicado, puesto que existen evidencias que en árboles de alta edad con copas grandes e irregulares los sensores ultrasónicos pierden precisión (Zamahn y Salyani, 2004). Además, los sensores comúnmente empleados en otros frutales y ampliamente estudiados no son aplicables, puesto que presentan rangos de lectura de hasta 3 m de distancia, con lo que en el olivar no cubren el rango de distancia requerido al ser los marcos de hasta 12 x 12 m.

De cara a realizar aplicaciones proporcionales que optimicen la dosis de producto fitosanitario aplicada al olivar, es necesario el empleo de sensores ultrasónicos de amplio rango (hasta 6 m) que aporten información sobre las características de la vegetación objetivo, por lo que se planteó un estudio destinado a determinar la validez de estos sensores en el caso del olivar. Los objetivos del presente estudio son:

- Calibrar los sensores ultrasónicos de amplio rango en laboratorio para medir distancias.
- Determinar la amplitud del cono de lectura de los sensores para el caso de la vegetación de olivar y compararlo con la información que aporta el fabricante.
- Cuantificar la interferencia producida por la lectura simultánea de sensores próximos a distintas distancias para distintas separaciones entre sensores.
- Validar en campo la calibración de laboratorio y comprobar la precisión de las lecturas en condiciones reales de trabajo.

Materiales y métodos

Sensor ultrasónico y sistema de control

El sensor ultrasónico empleado, modelo Pepperl + Fuchs UC6000-30GM-IUR2-V15 (Figura 1.a), que se alimenta a 24 V y aporta una señal analógica configurable tanto en voltaje como en intensidad. Corresponde a los conocidos como de amplio rango, puesto que mide hasta 6 m de distancia. Su empleo en olivar resulta imprescindible por los amplios marcos de plantación que hacen que otros sensores profusamente utilizados y testados en otros cultivos frutales no se adapten. No obstante, presenta el inconveniente de tener una cadencia de lectura lenta, con un periodo de 285 ms.

De cara al control del sensor y a la grabación y análisis de los resultados, se empleó un autómata programable modelo CompactRIO 9025 PAC (National Instruments, Austin, TX, USA) (Figura 1.b). Un software especial para cada una de las pruebas se desarrolló en el software LabView (National Instruments, Austin, TX, USA). El sensor fue conectado al equipo mediante un módulo de adquisición de señales analógicas (NI 9203, National Instruments, Austin, TX, USA). Los datos se leían en tiempo real en un ordenador portátil conectado al CompactRIO mediante una conexión RJ-45.

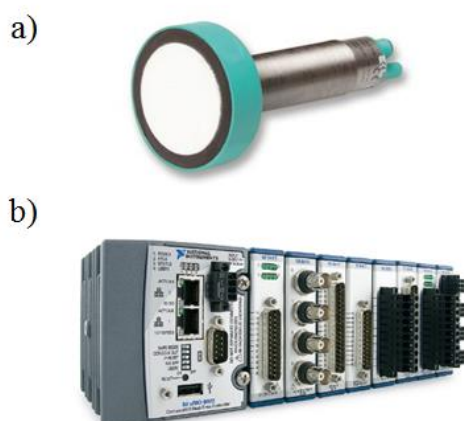


Figura 1. a) Sensor ultrasónico Pepperl + Fuchs UC6000-30GM-IUR2-V15. b) Autómata programable CompactRIO 9025.

Calibración del sensor

El sensor fue calibrado en condiciones de laboratorio, mediante la lectura de la salida analógica en forma de intensidad de corriente, mediante la colocación del mismo a distancias conocidas de una pared, perpendicularmente a la misma, y el ajuste de un modelo de regresión lineal mediante el método de mínimos cuadrados.

Determinación experimental del cono de lectura

El diámetro del cono de lectura varía en función del material objetivo. Así, resulta fundamental determinar experimentalmente la forma del cono de lectura de los sensores cuando se le interpone vegetación de olivo. Un ensayo fue planteado para determinar, a distintas distancias, el radio del cono de lectura en vegetación de olivo y para un objetivo cuadrado de 100 x 100 mm, como el utilizado por el fabricante en su hoja de datos, para comparar los resultados con los suyos. Para ello, el objetivo se fue introduciendo de forma perpendicular al eje longitudinal del sensor a distancias crecientes, tal y como muestra la Figura 2, y ajustando minuciosamente el grado de inserción para el que la lectura cambiaba de 6 m al valor de distancia correspondiente. Las lecturas, por tanto, fueron monitorizadas a tiempo real en un ordenador. El ensayo se llevó a cabo tomando distancias entre 1 y 5.25 m cada 0.25 m, y se efectuaron un total de 3 repeticiones.

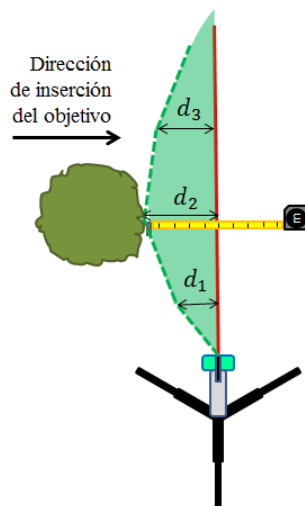


Figura 2. Ejemplo de lectura del radio (d_2) del cono de lectura.

Determinación de la interferencia entre sensores próximos

La interferencia entre sensores próximos es la principal causa de pérdida de precisión en las lecturas. Se planteó un ensayo para determinar la interferencia o error en la lectura producido por la medida simultánea de dos sensores próximos. Para ello, se colocaron los dos sensores sobre un mástil especialmente diseñado para la prueba y con capacidad de modificación de la separación entre los mismos (Figura 3.a). Se hicieron lecturas con cada uno de ellos de forma individual y, a continuación, simultánea, y se calcularon las desviaciones producidas en las segundas con respecto a las primeras. Las medidas se repitieron a distintas distancias del objetivo, un olivo real de reducidas dimensiones (Figura 3.b). Un total de 30 lecturas, con una frecuencia de medida de 1 Hz, se efectuaron para cada combinación de distancia al objetivo y separación entre sensores.

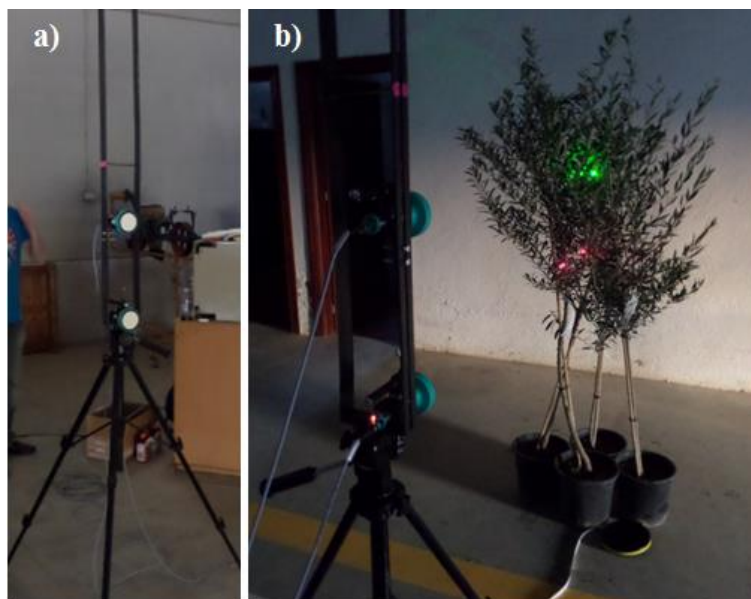


Figura 3. a) Montaje de los sensores ultrasónicos sobre el mástil de ensayo. b) Lecturas de la distancia a la copa del olivo de forma simultánea.

Comprobación de la calibración del sensor y de su precisión en medidas reales en campo

Puesto que las pruebas se realizaron en laboratorio, se preparó un ensayo para comprobar, en condiciones reales de campo, la fiabilidad de las lecturas realizadas por el sensor. Para ello, se montó un sensor sobre un trípode y se llevó, junto a la unidad de control y toma de datos, a una plantación experimental de olivar situada en el Campus de Rabanales de la Universidad de Córdoba (37°55'15.12"N; 4°43'15.58"W). El procedimiento de medida consistió en poner el sensor en una posición fija y medir la distancia a la copa de un árbol cercano. Se hacían un total de 30 medidas en cada posición, con una frecuencia de lectura de 1 Hz, y a continuación se medía la distancia real mediante un metro láser (GLM 50 Professional, BOSCH, Chicago, IL, USA). Se realizaron medidas en un total de 50 posiciones diferentes.

Resultados y Discusión

Calibración del sensor

La calibración del sensor resultó muy precisa, puesto que las repeticiones efectuadas no llegaron a variar un 1% respecto de la media para cada posición. El ajuste realizado por el método de los mínimos cuadrados es el que aparece en la ecuación 1.

$$\text{Distancia real (cm)} = 32319.80 \times \text{Intensidad (A)} - 49.30, R^2 = 0.999, p < 10^{-5} \quad (1)$$

Determinación experimental del cono de lectura

El cono de lectura para olivo y el objetivo plano cuadrado de 100 x 100 mm se encuentra recogido en la Figura 4.

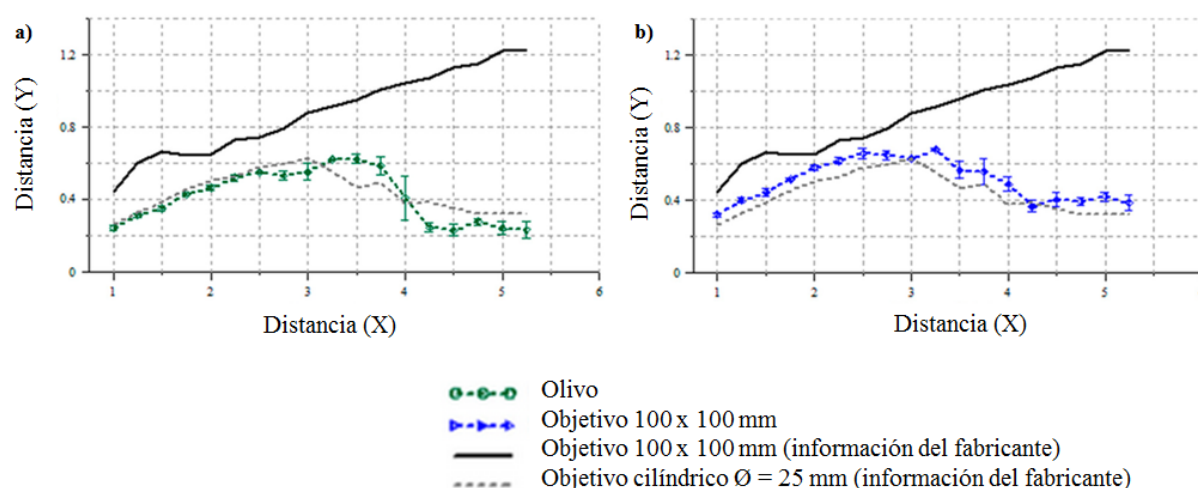


Figura 4. Representación de medio cono de lectura de los objetivos ensayados: a) vegetación de olivo y b) objetivo cuadrado de 100 x 100 mm, junto con los datos aportados por el fabricante.

Como puede verse en la Figura 4, la forma del cono de lectura para los dos objetivos es muy similar, con un máximo de apertura en las distancias comprendidas entre 2.5 y 4.0 m, con un estrechamiento posterior. La apertura máxima es, en el caso del olivo, de unos 60 cm de radio, lo que supone 1.2 m de diámetro de spot. Esta circunstancia da una idea de la escasa fiabilidad del sensor en este intervalo de distancias. En el caso del objetivo cuadrado, las lecturas son mayores en, prácticamente, todas las distancias. Los valores máximos de lectura son algo mayores, llegando a radios de unos 70 cm.

Resulta muy llamativo el hecho de que, mientras que el fabricante aporta una gráfica en la que el cono aumenta de forma continua para objetivos planos (Figura 4), los dos objetivos del ensayo presentan un comportamiento mucho más cercano al que tendría un cilindro, según su hoja de datos. Además, los valores obtenidos por el fabricante para el objetivo plano resultan muy importantes, lo que puede resultar en la no adquisición del sensor si se tiene en cuenta solo la información de su hoja de características.

En distancias superiores a los 4 m, el olivo da como resultado un spot de unos 40 cm de diámetro, lo cual constituye un error asumible si tenemos en cuenta las grandes dimensiones de la copa de los olivos en campo.

Determinación de la interferencia entre sensores próximos

Como se temía, la interferencia entre sensores resultó importante en algunos casos. La tabla 1 recoge los valores obtenidos en el ensayo.

Tabla 1. Errores absolutos producidos por la interferencia entre los sensores (m) (error medio \pm SE).

		Distancia al objetivo (m)					
		1	2	3	4	5	6
Separación entre sensores (m)	1.3	0.009	0.008	0.048	0.036	0.071	0.046
	1.0	0.004	0.005	0.006	0.047	0.006	0.005
	0.9	0.003	0.163	0.004	0.004	0.006	0.988
	0.8	0.004	0.003	0.005	0.003	0.004	0.007
	0.7	0.003	0.017	0.983	0.005	1.238	0.012
	0.6	0.005	0.003	0.003	0.004	1.804	0.008
	0.5	0.004	0.224	0.004	0.005	2.288	2.425
	0.4	0.004	0.004	0.930	0.003	0.004	2.801
	0.3	0.004	0.004	0.856	0.005	2.346	2.833

Como puede verse, existen errores muy importantes en las separaciones pequeñas para las distancias mayores, llegando a los 2.833 m en el caso de tener una separación de 30 cm y a 6 m de distancia del objetivo. Las separaciones de 1 y 1.3 m dan como resultado errores medios menores a los 10 cm en todos los casos, por lo que ambas parecen ser adecuadas para su implementación en equipos de aplicación. No obstante, dado que a 0.9 m de separación aparecen errores de cierta magnitud, parece más aconsejable optar por la segunda para dar más margen a posibles errores y asegurar la fiabilidad.

A 3 m de distancia al objetivo aparecen algunos errores de consideración, como podría esperarse viendo los resultados del ensayo de determinación del cono de lectura.

Aunque la tendencia general es que el error aumenta conforme lo hace la distancia y se reduce la separación, aparecen ciertos resultados anómalos que la interrumpen. Así, para una separación de 0.9 m y a 6 m de distancia, encontramos un error importante, cuando a 0.8 m era mucho menor. Esto también ocurre para 2 m de distancia al objetivo y para 3. Asimismo, la separación de 0.4 m en la distancia de 5 m da un error muy bajo (0.004 m) en comparación con los valores obtenidos en las separaciones de 0.3 y 0.5 m. Estos valores atípicos no parecen tener un motivo claro y presentan cierta aleatoriedad, por lo que su prevención parece difícil. La sincronización de los disparos de los sensores podría ser una solución al problema, aunque se requieren estudios pormenorizados.

Comprobación de la calibración del sensor y de su precisión en medidas reales en campo

Con el doble propósito de determinar la precisión del sensor y la validez de la calibración en campo, se enfrentaron los datos resultantes de las medidas manuales con aquéllos obtenidos por el sensor (Figura 5).

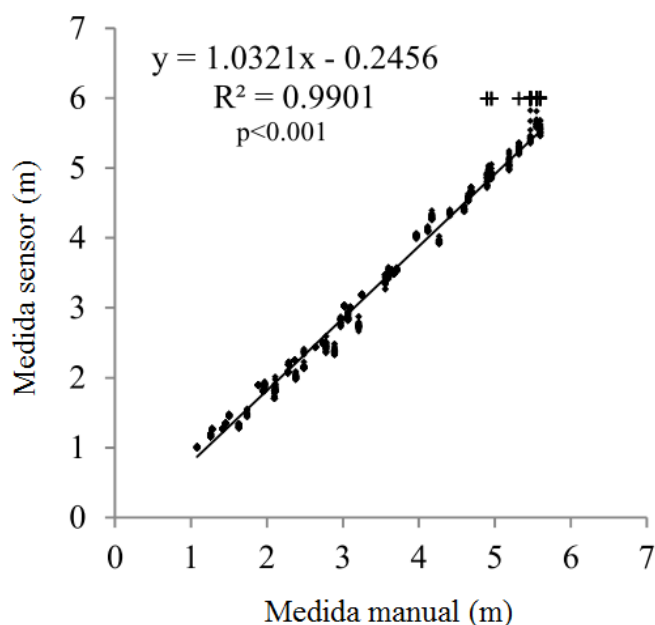


Figura 5. Correlación entre las medidas manuales y las obtenidas con el sensor ultrasónico en condiciones reales de campo.

Los resultados muestran que existe una gran proximidad entre los valores reales de distancia y aquellos obtenidos por el sensor ultrasónico, lo que indica que la calibración de laboratorio es válida y que el sensor presenta una adecuada precisión en las lecturas. No obstante, parece que el sensor tiene cierta tendencia a la sobreestimación de las medidas, lo que viene representado en la pendiente mayor que uno que presenta la recta de la Figura 5 (1.0321).

Existen ciertos errores en la lectura, que aparecen representados como puntos en la parte superior de la gráfica, a 6 m, cuando en realidad deberían dar otros valores, que oscilan entre los 5 y los 6 m, aproximadamente.

Conclusiones

Para el trabajo expuesto se presentan las siguientes conclusiones:

- El sensor ultrasónico estudiado es apropiado para su empleo en olivar por presentar una precisión en la lectura aceptable.
- El cono de lectura del sensor presenta valores altos en el intervalo de distancias entre los 2.5 y los 4 m. No obstante, los valores son en todo caso menores que los proporcionados por el fabricante.
- La interferencia entre los sensores es importante en algunos casos, y tiende a aumentar con separaciones pequeñas entre sensores y distancias largas al objetivo. Se recomienda una distancia mínima de 1.3 m para trabajos con 2 o más sensores.
- La calibración de laboratorio resulta adecuada para las condiciones reales de campo.
- Las lecturas de los sensores presentan resultados anómalos y aleatorios, difíciles de prevenir. La sincronización de los disparos puede resultar una vía de estudio interesante para solventar esta circunstancia.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Economía y Competitividad por el soporte financiero del proyecto MECAOLIVAR cofinanciado con fondos FEDER. Igualmente se agradece el soporte de la Interprofesional del Aceite de Oliva Español (IAOE). El primer autor de este trabajo quiere también agradecer al Ministerio de Educación, Cultura y Deportes por el soporte económico a través del Programa Nacional de Formación de Profesorado Universitario (FPU).

Bibliografía

- Escolà, A., S. Planas, J. Rosell, J. Pomar, F. Camp, F. Solanelles, F. Gracia, J. Llorens, and E. Gil. 2011. Performance of an Ultrasonic Ranging Sensor in Apple Tree Canopies. *Sensors* 11(3): 2459–2477.
- Jeon, H.Y., and H. Zhu. 2012. Development of a Variable-Rate Sprayer for Nursery Liner Applications. *Trans. ASABE* 55(2002): 303–312.
- Llorens, J., E. Gil, J. Llop, and A. Escolà. 2011. Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. *Sensors* 11(2): 2177–2194.
- Rosell, J.R., and R. Sanz. 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Comput. Electron. Agric.* 81: 124–141.
- Rovira-Más, F., Q. Zhang, and J.F. Reid. 2005. Creation of Three-dimensional Crop Maps based on Aerial Stereomages. *Biosyst. Eng.* 90(3): 251–259.
- Tumbo, S.D., M. Salyani, J.D. Whitney, T.A. Wheaton, and W.M. Miller. 2002. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. *Appl. Eng. Agric.* 18(3): 367–372.
- Zamahn, Q.U., and M. Salyani. 2004. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. *Appl. Eng. Agric.* 20: 173–178.

S07 - Caracterización por espectroscopia de la impedancia eléctrica de la aceituna variedad manzanilla de Sevilla

Madueño Luna, A.¹; Granados Albarrán, J.A.¹, Justicia Segovia, M.¹, Ruiz Canales, A.², Molina Martínez, J.M.³, López Lineros, M.⁴, Madueño Luna, J.M.⁵

¹ Investigador Grupo PAI AGR-126. Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos (Universidad de Sevilla), Ctra. De Utrera, Km.1, 41013 Sevilla, amadueno@us.es. ² Investigador Agua y Energía para una Agricultura Sostenible, Departamento de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Orihuela Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra. de Beniel KM 3,2. CP: 03312, acanales@umh.es. ³ Investigador. Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar, Campus Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena (Murcia). Universidad Politécnica de Cartagena, josem.molina@upct.es. ⁴ Investigador. Dpto. Ingeniería del Diseño, Universidad de Sevilla, mlopezlineros@us.es, ⁵ Investigador. Dpto. Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba, jmml@laureusagro.es.

Resumen

Con el objeto de determinar el momento óptimo de recogida de las aceitunas de la variedad manzanilla sevillana, se ha analizado para aceitunas procedentes de una misma finca, la impedancia eléctrica entre 10 Hz y 100 kHz de su pulpa en dos estados característicos, uno en verde para ser procesadas como aceitunas de mesa y el otro con las condiciones óptimas para la extracción de aceite. Asimismo se han evaluado otros dos estados intermedios donde las aceitunas estaban en una fase intermedia de maduración. Se ha cuantificado la firmeza de los frutos en los 4 estados obteniéndose en promedio (N/cm^2), 20 ± 0.3 , 15 ± 0.4 , 12 ± 0.4 , 3 ± 0.3 respectivamente. La medida de la impedancia eléctrica compleja demuestra la existencia de dos zonas características entre 0-100 Hz en verde y entre 0-40 Hz en madura, donde el comportamiento es prácticamente resistivo con un valor promedio característico a 10 Hz de 14 k Ω y 9 k Ω respectivamente. Y una segunda zona entre 75 kHz-100 kHz en verde con una impedancia de valor promedio $4.9 \angle 320^\circ$ k Ω y entre 30 kHz-100 kHz en maduración con una impedancia de valor promedio de $4.9 \angle 340^\circ$ k Ω . El punto de inflexión en la curva a partir del que se entra a impedancia de módulo constante (75 kHz/verde, 30 kHz/madura), es característico del estado de maduración y se puede emplear junto a la impedancia a baja frecuencia (<50 Hz) como indicador de este estado. Asimismo se en los estados de semi-maduración se observan valores de transición entre los límites anteriores. El empleo de uno o ambos indicadores podría servir de base en la construcción de un dispositivo portátil para la caracterización del estado de maduración de las aceitunas en las propias fincas o en laboratorio.

Palabras clave: Maduración, Resistencia, Reactancia, AD5933.

Spectroscopy characterization of electrical impedance in *Olea Europaea* L., of the 'Manzanilla Sevillana' cultivar

Abstract

In order to establish the optimal timing of Seville manzanilla variety, electrical impedance between 10 Hz and 100 kHz has been measured from its pulp in olives collected in the same state characteristics, first in green state to be processed as table olive and the other hand in optimal conditions for oil extraction. In addition, two intermediate states were also measured in semi-ripe olives. Likewise, it has been quantified fruits firmness in the 4 states, obtaining an average ratio (N/cm^2) of 20 ± 0.3 , 15 ± 0.4 , 12 ± 0.4 and 3 ± 0.3 respectively. Complex electrical impedance measurement shows the existence of two characteristic zones between 0-100Hz in green stage, and 0-40 Hz in ripening stage, where its behavior is practically resistive, with an average value at 10 Hz around 14 k Ω and 9 k Ω respectively. The second zone is between 75 kHz-100 kHz in green stage, and an average value of impedance between $4.9 \angle 320^\circ$ k Ω and 30 kHz-100 kHz in ripening state with an average value of $4.9 \angle 340^\circ$ k Ω . The point of inflexion of the curve related to an impedance value of constant module (75 kHz/green, 30 kHz/mature), is characteristic of ripening stage and it can be used with impedance at low frequency (<50 Hz) as indicator of this stage. Therefore, in the states of semi-ripeness is observed transition values among previous limits. The use of one or both indicators could be used as a base for the

construction of a portable device to characterize the olives ripeness state in situ or at the laboratory.

Keywords: Olive ripening, Resistance, Reactance, AD5933.

Introducción y/o Justificación

El aceite y las aceitunas de mesa han sido los principales productos del olivo durante siglos (Morales, et al., 2008). Las aceitunas de mesa representan sólo el 10% de la producción mundial y su consumo, así como del aceite de oliva, ha aumentado en los últimos años por el reconocido valor nutricional de la dieta mediterránea. El consumidor y la industria de transformación solicitan frutas con buen tamaño y forma adecuada, relación pulpa/hueso alta, buena textura y color, y facilidad en el deshuesado.

Las mediciones de impedancia (Scandurra et al., 2011), en gran medida se emplean en muchos campos de la ingeniería electrónica, tales como dispositivos, circuitos y caracterización de sensores y su fiabilidad. Sin embargo, este tipo de medidas, conocidas como técnica de espectroscopia de impedancia eléctrica (EIS), se han aplicado también en Medicina y Biología (Cole, 1932; Morel, et al., 2008; Laufer et al., 2012; Mc Givney et al., 2012, Margo et al., 2013, Michalikova, et otros, 2014) y ha sido ampliamente utilizado para evaluar la condición *in vivo* de los tejidos animales y vegetales (Bauchot et al., 2000; Cole, 1972; Settle et al., 1980; Lewis et al., 1989, Lin et al., 2012). Recientemente, ha habido un creciente interés en el uso de esta técnica para evaluar la maduración de la fruta (Harker y Dunlop, 1994; Harker y Maindonald, 1994; Inaba et al., 1995) y verduras como el tomate (Varlan y Sansen, 1996). La ventaja de EIS es que los diagramas del circuito eléctrico equivalente obtenido pueden utilizarse para interpretar los espectros impedancia en términos de componentes de resistencia y reactancia o en módulo y fase.

Hace algunos años, Analog Devices presentó la primera solución de sistema en Chip (SoC) capaz de realizar mediciones de impedancia compleja, denominada AD5933 (Ferreira, 2013). El AD5933 ha sido utilizado con éxito en aplicaciones de EBI, por ejemplo en espectroscopia de impedancia implantables (Bogóñez-Franco, et al., 2010), evaluación EBI usando electrodos implantados en la ropa (textrodes) (Ferreira, et al., 2011), para aplicaciones de Bio-impedancia eléctrica con frontal analógico (Front-End), (Ferreira, et al., 2010) o (Rose, 2013) de maduración de los frutos.

El objetivo que se plantea con el presente trabajo es caracterizar la impedancia eléctrica compleja en dos estados característicos del fruto: en verde para su procesado como aceituna de mesa estilo verde sevillano y, ya madura para la extracción de aceite. En ambos estados se ha comparado la firmeza del fruto. Adicionalmente se han estudiado dos estados intermedios para conocer la evolución de la impedancia eléctrica y de la firmeza toda la fase de maduración. Con la información obtenida se estudiará la existencia de valores característicos de impedancia eléctrica que permita conocer a partir de este parámetro el estado de maduración de los frutos y se analizará la posibilidad de realizar un equipo exprofeso para la medida del estado de maduración de las aceitunas in-situ en las propias fincas o en laboratorio.

Material y Métodos

Variedad usada

La aceituna *Olea europaea L.*, empleada ha sido la variedad 'Manzanilla Sevillana', de uso preferente como aceituna de mesa, aunque también se emplea minoritariamente para la extracción de aceite. Es la variedad más difundida internacionalmente debido a la alta productividad de las plantaciones de este cultivar y, a la calidad del fruto obtenido. Con el objeto de caracterizar la impedancia eléctrica de su pulpa, las aceitunas han sido recolectadas en cuatro estados, en verde para ser procesadas como aceitunas de mesa, semi-maduras en dos estados y ya maduras para molino. Estas aceitunas fueron recolectadas en intervalos de 2 semanas, concretamente desde 30 de septiembre al 15 de diciembre de 2013, de un olivar situado en Estepa, Sevilla, España, siendo las fechas concretas de muestreo el 30 de septiembre, 15 de noviembre, 1 de diciembre y 15 de diciembre de 2013. Para cada nivel de madurez, al menos 100 aceitunas fueron recolectadas al azar entre varios árboles, en la tarde del día anterior a su medición, conservándolas a una temperatura de 20 ° durante toda la noche. Se utilizaron 50 aceitunas con forma regular, sin daños o defectos, en cada período de muestreo. La masa media y desviación estándar de las aceitunas desde la medición inicial hasta la última, 6 semanas más tarde, en un intervalo de 2 semanas fueron $4,6 \pm 0,2$ g, $4,7 \pm 0,1$ g, $4,8 \pm 0,2$ g y $4,9 \pm 0,2$ g, respectivamente. La longitud media y desviación estándar de las aceitunas desde la medición inicial hasta el último, seis semanas más tarde, en el intervalo de 2 semanas fueron 177 ± 29 mm, 166 ± 22 mm, 180 ± 25 mm, 178 ± 21 mm y ± 168 22 mm, respectivamente, lo que se corresponde con un calibre estándar 261/290. Para el análisis de varianza se empleó un diseño de bloques completos al azar con 50 aceitunas, para cada uno de los cuatro tiempos de medición

Firmeza de los frutos

Se ha empleado un penetrómetro digital PTR-200 (PCE Ibérica, Spain), controlado por un microprocesador de lectura rápida dotado de una punta de 8 mm de diámetro para caracterizar la textura de las aceitunas en los 4 estados con el objeto de ver si existe una correlación entre la firmeza del fruto y los valores de impedancia eléctrica medidos. Está montado sobre un puesto de medición de fuerza modelo PCE-MT S500 (PCE Ibérica, Spain), ambos poseen certificado de calibración para laboratorio según la DIN ISO 9000. Las mediciones se han llevado a cabo a una velocidad constante de 1 cm/s, penetrándose 5 mm sin retirar la piel de las aceitunas. El resultado es el promedio de la firmeza medida y está expresado en kg/cm². Se obtuvieron dos lecturas en dos puntos de la circunferencia, separados 180 ° para cada oliva (Guo et al (2011).

Equipo para la caracterización de la impedancia eléctrica.

Para la medida de la impedancia eléctrica se ha usado una tarjeta de evaluación EVAL-AD5933EBZ (Analog Devices, 2015; Analog Devices, cod. 2301749, Farnell), que incluye un chip específico AD5933 (Analog Devices, 2010), para la medida de esta magnitud eléctrica (Seoane, et al., 2008, Blomqvist, et al., 2012). Esta tarjeta se usa de forma combinada con el módulo generador de señales de un osciloscopio para PC Pico Scope 5204 (Pico Scope cod. 136-730, RS-Amidata), encargado de suministrar la señal

de reloj (Yang, et al., 2014), necesaria para procesar la impedancia a partir de la transformada directa de Fourier (DFT), (Pérez-Esteve, et al., 2014), ver figura 1.

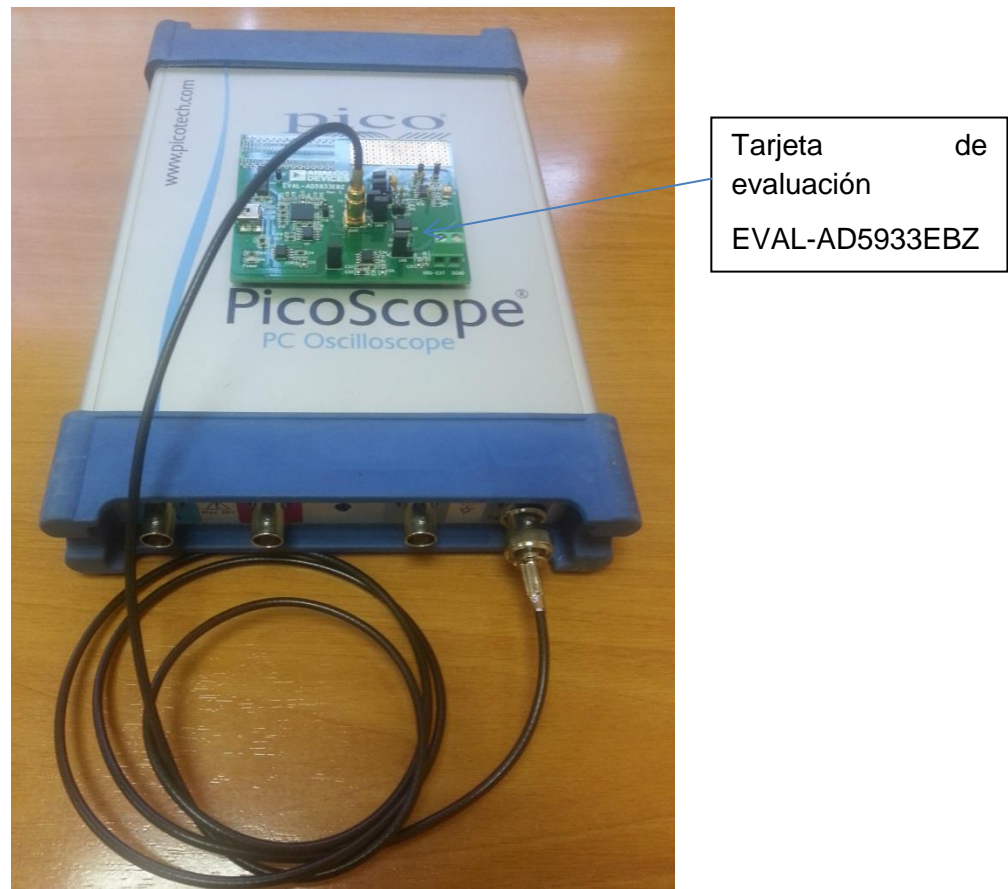


Figura 1. Tarjeta de evaluación EVAL-AD5933EBZ y Pico Scope.

El AD5933 (Serres, 2012), es un dispositivo capaz de medir impedancia eléctrica compleja que incluye un generador de frecuencia programable (DDS) y un convertidor analógico-digital de 12-bit y 1 MSPS para realizar la estimación de la impedancia. El AD5933 incorpora un interfaz I²C que permite tanto la configuración del chip como las comunicaciones con un controlador maestro I²C.

El AD5933 posee un canal para realizar las mediciones de impedancia, uno de los pines se utiliza para inyectar la señal de voltaje senoidal y otro pin para leer la corriente de entrada estimando así el módulo de la impedancia y los valores de fase. La señal de voltaje de salida es sinusoidal con un rango de frecuencia de 1 kHz a 100 kHz. La gama de impedancias que puede medir el chip va desde 1k Ω a 1M Ω . El tiempo de conversión de impedancia es 1ms aproximadamente con un oscilador de 16 MHz conectado al chip AD5933.

Para obtener los valores de magnitud y fase de la impedancia conectada, primero se genera la señal senoidal de salida y después de un tiempo programado, el chip efectúa una transformada directa de Fourier (DFT) de 1024 puntos sobre la señal digitalizada procedente del convertidor analógico-digital (ADC), la información así obtenida se ubica en dos registros diferentes. Para obtener los valores reales e imaginarios de la

impedancia, los resultados obtenidos necesitan ser multiplicados por un factor de calibración que se ha obtenido previamente.

El rango de medidas en frecuencia (Analog Devices, 2007), se ha establecido para nuestra aplicación entre 10 Hz y 100 kHz, empleando para ello siete escalas cada una con una frecuencia de reloj (FCLK) diferente en cada rango. La calibración necesaria para la medida de las impedancias (Simic, 2013), se ha llevado a cabo de manera manual seleccionando entre un conjunto de 15 resistores mediante dos multiplexores analógicos ADG706 (Analog Devices, 2002), ver figura 2. Las escalas y resistencias de calibración empleadas aparecen reflejadas en las tablas 1a y 1b. Para la correcta medida de la impedancia, la tarjeta de evaluación dispone de un circuito analógico de acondicionamiento que permite la medida desde $1\ \Omega$ a $10\ M\Omega$ (Djermanova, et al., 2014).

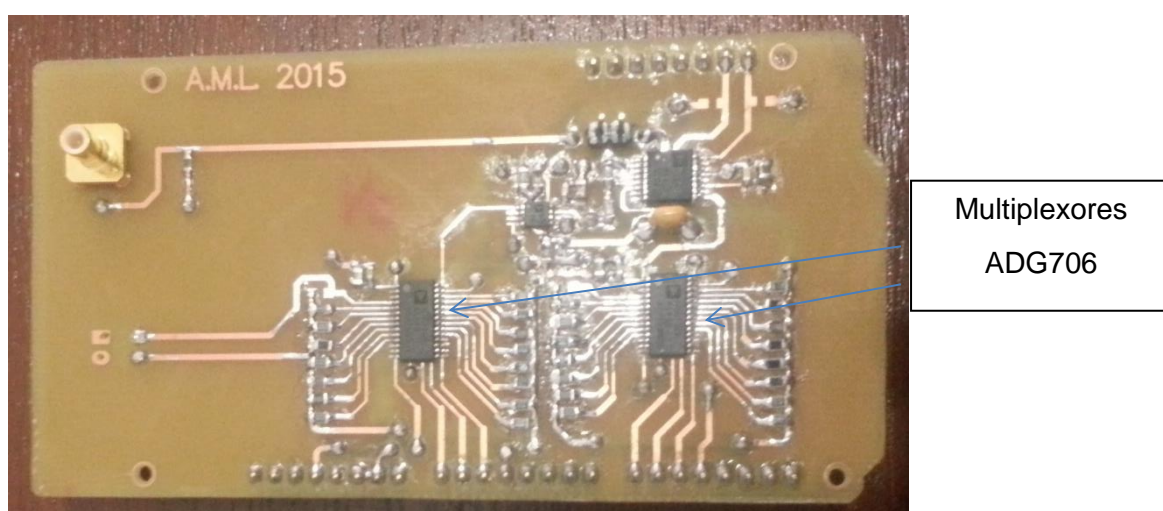


Figura 2. Multiplexores analógicos ADG706.

Tabla 1a. Escalas FCLK procedentes de un Pico Scope modelo 5204.

	Escalas						
	1	2	3	4	5	6	7
FCLK (MHz)	16	4	2	3	0.25	0.05	0.025
FMAX (KHz)	100	5	1	0.3	0.2	0.1	0.03
FMIN (KHz)	5	1	0.3	0.2	0.1	0.03	0.01

Tabla 1b. Resistor Resistencia tolerancia de 0.1% y coeficiente térmico de 10ppm.

Resistor													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Resistencia (KΩ)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Electrodos para la medida de la impedancia eléctrica.

Para la caracterización de la impedancia se han usado dos electrodos de cobre cubiertos de oro. De longitud útil 2.54 mm, están separados también una distancia 2.54 mm. Estos electrodos tienen un engrosamiento en su base que impide que penetren dentro de la pulpa más allá de esos 2.54 mm, con ello se asegura que el efecto de los electrodos es el mismo en cada medida (Scandurra, et al., 2013). Dado el mayor tamaño de las puntas que penetran en la pulpa que el grosor de la piel, se considera que el efecto de esta sobre la medida no es significativo a ninguna frecuencia quedando su escasa influencia asimilada en la medida. Las medidas se hacen en la circunferencia ecuatorial al igual que la firmeza pero en puntos separados 90° respecto a aquellos.

Valores medidos de conductancia, reactancia, impedancia y fase.

El software de la tarjeta de evaluación permite obtener el valor real e imaginario de la impedancia compleja así como su módulo y fase. Para la caracterización de la impedancia se ha empleado un diagrama polar módulo-fase. Por otra parte para evitar un posible efecto que la temperatura pueda ejercer un efecto sobre las medidas debido a cambios internos en la propia aceituna, se han realizado todas las repeticiones a 20°C en un laboratorio con temperatura ambiente controlada.

Modelo de impedancia compleja de la aceituna variedad manzanilla de Sevilla

El análisis de los datos, como se refleja en el apartado de resultados, ha permitido clasificar la evolución de la impedancia eléctrica de la aceituna en 4 zonas (Freeborn, 2013), cada una con un modelo eléctrico equivalente. La zona 1 y la transición de la 3-4 como se verá en el apartado de resultados, permiten estimar el estado de maduración de las aceitunas.

Resultados y discusión

Firmeza de los frutos

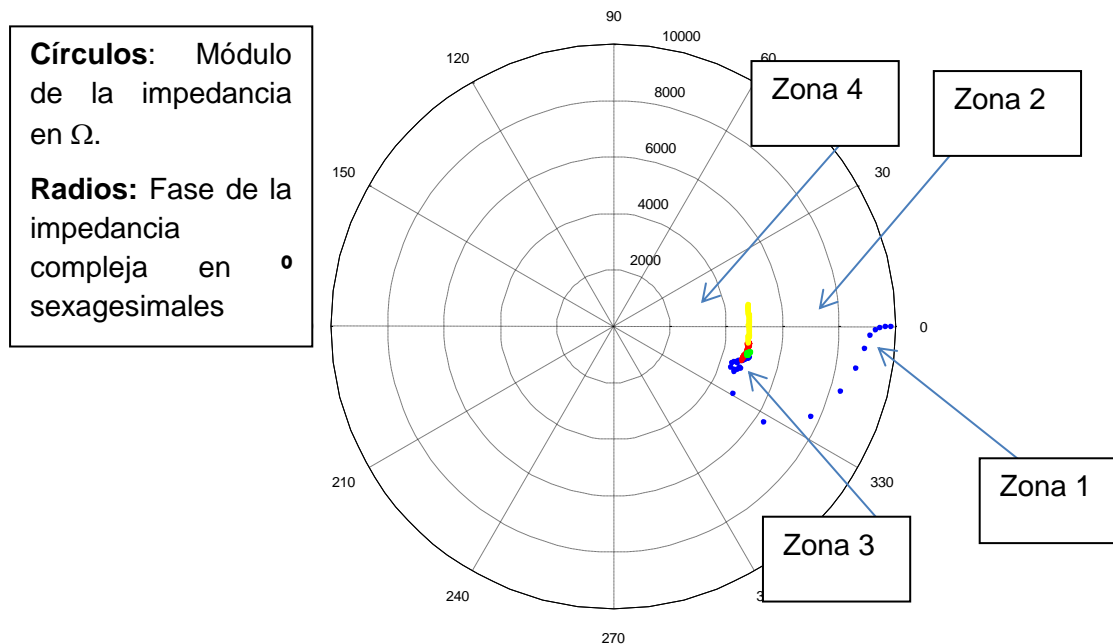
Se ha realizado de la medida de la firmeza en los frutos con el objeto de tener un parámetro que evoluciona con la madurez así compararlo con la evolución de la impedancia compleja de la pulpa de la aceituna. En la tabla 2 aparecen reflejados los valores promedio y ratios de firmeza (N/cm²), para los 4 estados de maduración analizados.

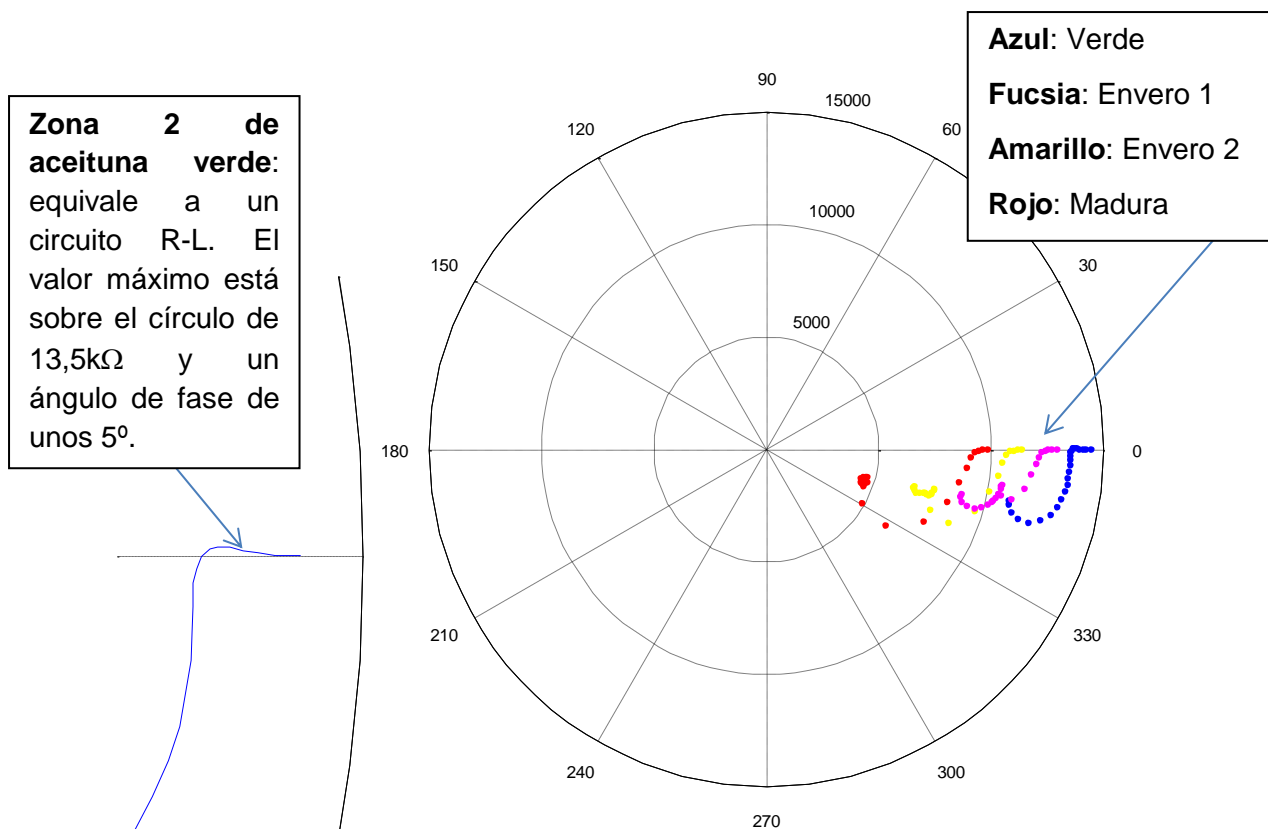
Tabla 2. Firmeza en los cuatro estados de maduración.

	Verde	Envero 1	Envero 2	Madura
Firmeza (N/cm ²)	20±0.3	16±0.2	13±0.2	2±0.2
Ratio		1.25±0.3	1.5±0.2	10±0.2

Evolución de la impedancia eléctrica compleja

En la figura 3a se muestran las zonas de transición de impedancia en aceituna madura, en la figura 3b se muestra la zona 2 ampliada y en la figura 3c de manera conjunta, los 4 estados analizados, (azul: aceituna verde, fucsia: envero 1, amarillo: envero 2 y rojo: aceituna madura). Los círculos concéntricos se corresponden al valor del módulo de la impedancia compleja expresados en ohmios. Los radios representan la fase de la impedancia compleja expresada en grados sexagesimales.





Figuras 3a, 3b y 3c. Zonas de evolución de la impedancia en aceituna madura y análisis de los 4 estados de maduración

En todos los estados de la aceituna (desde verde a totalmente madura), se aprecia una primera zona (1) prácticamente resistiva con valores característicos de impedancia eléctrica promedio (14, 13, 12, 9 kΩ y ángulo de fase prácticamente 0°) respectivamente, una zona de transición (2) donde la pulpa de la aceituna tiene un compartimiento eléctrico equivalente a un circuito R-L con valores de impedancia eléctrica promedio (13.5, 12.5, 10.5, 8 kΩ y ángulo de fase 5°) respectivamente, una zona de transición (3) con un carácter muy variable con puntos con resonancias parciales y comportamiento de circuito R-C y finalmente una última zona (4) donde la impedancia eléctrica adquiera un módulo constante y fase variable (en promedio 4.9 kΩ y fase desde 330° a valores próximos a 0°).

Igualmente se aprecia que cada zona se corresponde con un intervalo de frecuencias característico, en la tabla 3 aparecen estos intervalos para aceitunas verdes y totalmente maduras.

Tabla 3. Intervalos de transición en Hz y kHz

	1	2	3	4
Verde	0 a 50	50 a 60	60 a 60k	60k a 100k
Madura	0 a 20	20 a 30	30 a 600	600 a 100k

Conclusiones

El análisis de la evolución de la impedancia eléctrica compleja en la pulpa de la aceituna de la variedad manzanilla de Sevilla, muestra la existencia de cuatro zonas características: una resistiva R, una tipo R-L, otra R-C y una última en la que $|Z| = cte$ y la fase es variable evolucionando en este último caso desde un circuito equivalente R-C a sólo R o incluso R-L.

Es posible usar la zona 1 y la entrada a la zona 4 (caracterizadas por su (impedancia en módulo y fase así como la frecuencia), como marcadores del estado de madurez de la aceituna.

El uso de la zona 1 en la que la fase es prácticamente cero permite una realización simplificada de un medidor de impedancia ya que se podría realizar para frecuencia bajas del orden de 50 Hz.

El uso combinado de la textura y la impedancia compleja pueden ser un marcador objetivo del estado de maduración de la aceituna en todos sus estados (desde verde a totalmente madura) y para el caso de aceituna ya madura podría ser un procedimiento que sustituyera al “Método Jaén”.

Se propone como líneas futuras la extensión de este estudio a otras variedades de aceitunas así como la realización de un conductímetro simplificado que opere solo en la zona 1 a una frecuencia de 50 Hz.

Bibliografía

- Agilent Impedance Measurement Handbook - A guide to measurement technology and techniques - 4th Edition (2009). Agilent-Technologies.
- Ando, Y., Mizutani K., Wakatsuki N. 2014. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. *Journal of Food Engineering* 121, 24–31.
- Analog Devices. AD5933 Data Sheet. 2010; Available from: <http://www.analog.com/en/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/ad5933/products/product.html>. (accessed on January 10, 2015).
- Analog Devices. ADG706 Data Sheet. 2002; Available from: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG706_707.pdf. (accessed on January 10, 2015).
- Analog Devices. AN-843 Application Note: 2007. http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/236037846AN_843.pdf. (accessed on January 10, 2015).
- Analog Devices. Evaluation Board User Guide UG-364. 2015. http://www.analog.com/static/imported-files/user_guides/UG-364.pdf. (accessed on January 10, 2015).
- Blomqvist, K.H., Sepponen, R.E., Lundbom, N., Lundbom, J. 2012. An open-source hardware for electrical bioimpedance measurement. *Electronics Conference (BEC), 13th Biennial Baltic*.
- Bogóñez-Franco, P., Bayés-Genís, A., Rosell J., et al., 2010. “Performance of an implantable impedance spectroscopy monitor using ZigBee,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 224, no. 1, pp. 012163.
- Cole, K.S., 1932. Electric phase angle of cell membranes. *Journal of General Physiology* 15, 641–649.
- Cole, K.S., 1972. *Membranes, Ions, and Impulses. A Chapter of Classical Biophysics*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Djermanova, N.J., Kiss'ovski, J.G., Vatchkov, V.A. 2014. Portable Arduino - Based LCR – Meter. *Annual Journal of Electronics*, ISSN 1314-0078

- Ferreira, J. 2013. Portable bioimpedance monitor evaluation for continuous impedance measurements. Towards wearable Plethysmography Applications. 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS Osaka, Japan.
- Ferreira, J., Seoane, F., Ansede Peña, A., et al. 2010. "AD5933-Based Spectrometer for Electrical Bioimpedance Applications," in International Conference on Electrical Bioimpedance, Gainesville, Florida.
- Ferreira, J., Seoane, F., and Lindecrantz, K. 2011. "AD5933-based electrical bioimpedance spectrometer. Towards textile-enabled applications." *ConfProc IEEE Eng Med Biol Soc.* pp. 3282-3285. doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090891.
- Freeborn, T.J. 2013. A Survey of Fractional-Order Circuit Models for Biology and Biomedicine. *IEEE JOURNAL ON EMERGING AND SELECTED TOPICS IN CIRCUITS AND SYSTEMS*, VOL. 3, NO. 3, pp. 416-424.
- Freeborn, T.J., Maundy, B., Elwakil, A.S. 2013. Cole impedance extractions from the step-response of a current excited fruit sample. *Computers and Electronics in Agriculture* 98, 100–108.
- Guo, W., Zhu, X., Stuart, O.N., Yue, R., Liu, H., Liu, Y., 2011. Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. *LWT - Food Science and Technology* 44, 224–230.
- Harker, F.R., Dunlop, J., 1994. Electrical impedance studies of nectarines during coolstorage and fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 4, 125–134.
- Harker, F.R., Forbes, S.K., 1997. Ripening and development of chilling injury in persimmon fruit: an electrical impedance study. *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.* 25, 149–157.
- Harker, F.R., Maindonald, J.H., 1994. Ripening of nectarine fruit: changes in the cell wall, vacuole, and membranes detected using electrical impedance measurements. *Plant Physiol.* 106, 165–171.
- Inaba, A., Manabe, T., Tsuji, H., Iwamoto, T., 1995. Electrical impedance analysis of tissue properties associated with ethylene induction by electric currents in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *Plant Physiol.* 107, 199–205.
- Juansah, J., Budiastira, I.W., Dahlan K., Seminar, K.B. 2012. Electrical Behavior of Garut Citrus Fruits During Ripening. Changes in Resistance and Capacitance Models of Internal Fruits. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* Vol:12. No:04.
- Kuson, P., Terdwongworakul, A. 2013. Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement. *Journal of Food Engineering* 116, 50–56.
- Laufer, S., Solomon, S.B., Rubinsky, B., 2012. Tissue characterization using electrical impedance spectroscopy data: a linear algebra approach. *Physiological Measurements* 33, 997–1013.
- Lewis, G.S., Aizinbud, E., Lehrer, A.R., 1989. Changes in electrical resistance of vulvar tissue in holstein cows during ovarian cycles and after treatment with prostoglandin F2a. *Anim. Reprod. Sci.* 18, 183–197.
- Lin, C., Chen, L., and Chen, T. 2012. "The development and application of an electrical impedance spectroscopy measurement system for plant tissues," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 82, pp. 96–99, 2012.
- Margo, C., Katrib, J., Nadi, M., Rouane, A. 2013. "Four electrode embedded bioimpedance measurement system," *Faible Tension Faible Consommation (FTFC)*, IEEE.
- McGivney, D., Calvetti, D., Somersalo, E., 2012. Quantitative imaging with electrical impedance spectroscopy. *Physics in Medicine and Biology* 57, 7289–7302.
- Michalikova, M., Prauzek, M. 2014. A hybrid device for electrical impedance tomography and bioelectrical impedance spectroscopy measurement. *Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, IEEE 27th Canadian Conference on.

- Morales-Sillero, A., Jiménez, R., Fernández, J.R., Troncoso, A., Rejano, L. Effect of Fertigation on the 'Manzanilla de Sevilla' Table Olive Quality Before and After "Spanish-style" Green Processing. 2008. *HORTSCIENCE* 43(1):153–158.
- Morel, H. & Jaffrin, M.Y. (2008). A bridge from bioimpedance spectroscopy to 50 kHz bioimpedance analysis: application to total body water measurements. *Physiol Meas*, Vol 29, pp.465-478.
- Pérez-Esteve, E., Fuentes, A., Grau, R. Fernández-Segovia, I., Masot, R., Alcañiz, M., Barat, J.M. 2014. Use of impedance spectroscopy for predicting freshness of sea bream (*Sparus aurata*). *Food Control* 35, 360-365.
- Rose, J., Pamela, D., Rajasekaran, K., 2013. Apple Vitality Detection by Impedance Measurement. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Volume 3, Issue 3.
- Scandurra G, Tripodi G, Verzera A. 2013. Impedance spectroscopy for rapid determination of honey floral origin. *J Food Eng*; 119: 738-743.
- Seoane, F., Ferreira, J., Sánchez, J.J., Bragós, R. 2008. An analog front-end enables electrical impedance spectroscopy system on-chip for biomedical applications. *Physiol. Meas.* 29, S267–S278.
- Serres, V. 2012. AD5933-Based System for Transthoracic Impedance Measurements. FINAL DEGREE THESIS. University of Borås. pp. 1-45.
- Settle, R.G., Foster, K.R., Epstein, B.R., Mullen, J.L., 1980. Nutritional assessment: whole body impedance and body fluid compartments. *Nutr. Cancer* 2, 72–80.
- Simic, M. 2013. Realization of Complex Impedance Measurement System Based on the Integrated Circuit AD5933. 21st Telecommunications forum TELFOR. IEEE. DOI: 10.1109/TELFOR.2013.6716294.
- Soltani, M., Alimardani, R., Omid, M. 2011. Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *Journal of Food Engineering* 105, 625–631.
- Varlan, A.R., Sansen, W., 1996. Nondestructive electrical impedance analysis in fruit: normal ripening and injuries characterization. *Electro-Magnetobiology* 15, 213–227.
- Yang, Z., He, Z., Li, D., Xue, G., Cui, X. 2014. Hydraulic amplifier design and its application to direct drive valve based on magnetostrictive actuator. *Sensors and Actuators A: Physical*. Volume 216, Pages 52–63.

S08 - Implementación y calibración de un conductímetro para la medición de la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna.

Madueño Luna, A.¹, Justicia Segovia, M.¹, Granados Albarrán, J.A.¹, Ruiz Canales, A.², Molina Martínez, J.M.³, López Lineros, M.⁴, Madueño Luna, J.M.⁵

¹ Investigador Grupo PAI AGR-126. Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos (Universidad de Sevilla), Ctra. De Utrera, Km.1, 41013 Sevilla, amadueno@us.es. ² Investigador Agua y Energía para una Agricultura Sostenible, Departamento de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Orihuela Universidad Miguel Hernández de Elche, Ctra. de Beniel KM 3,2. CP: 03312, acanales@umh.es. ³ Investigador. Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar, Campus Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena (Murcia). Universidad Politécnica de Cartagena, josem.molina@upct.es. ⁴ Investigador. Dpto. Ingeniería del Diseño, Universidad de Sevilla, mlopezlineros@us.es, ⁵ Investigador. Dpto. Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba, jmml@laureusagro.es.

Resumen

La conductividad eléctrica medida sobre diversos productos agroalimentarios se emplea como técnica para determinar diferentes parámetros como el contenido de humedad y capacidad de germinación en semillas o la resistencia de los frutos a las heladas. (Alwis y Mitchell, 1989; Paine, *et al.*, 2002). Investigaciones más recientes (Nelson y Nigmatullin, 2006; Abu Izneid, *et al.*, 2011) establecen la medición de la impedancia eléctrica como una técnica para la evaluación del estado de la madurez y la calidad de los frutos. En este trabajo se ha desarrollado un conductímetro experimental de corriente alterna (CA) a 50 Hz de frecuencia, controlado mediante un microprocesador PIC18F2550 vinculado a PC mediante USB, que se ha empleado para medir la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna de almazara (*Olea europaea L.*), en diferentes estadios de madurez relacionándolo con los valores obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica (Expresada en % de Fondo de Escala), para establecer objetivamente en índice de madurez de los frutos y determinar el momento óptimo de su recolección atendiendo a los parámetros clave como son el rendimiento graso de los frutos y la calidad del aceite resultante. En dos cultivares diferentes, 'Picual' y 'Manzanilla de Sevilla', se ha determinado que la evolución de la conductividad eléctrica en el mesocarpio de los frutos se incrementa conforme los frutos van madurando. Así mismo, cada variedad presenta un valor promedio característico para los últimos estadios de maduración.

Palabras clave: Conductimetría, maduración, oleicultura

Implementation and calibration of a conductivity meter for measuring the electrical conductivity in the mesocarp of the olive fruits

Abstract

The electrical conductivity measured on various agrifoods products is used as a technique to determine the different parameters, as the moisture content and germination capacity of seeds or the resistance to frost of fruits. (Alwis and Mitchell, 1989; Paine, *et al.*, 2002). Latest research (Nelson and Nigmatullin, 2006; Abu Izneid, *et al.*, 2011) set out the measurement of electrical impedance as a technique for assessing the stage of maturity and fruit quality. In this work, we have developed an experimental conductivity of alternating current (AC) at 50 Hz frequency, controlled by a microprocessor PIC18F2550 linked to PC via USB, which has been used to measure the electrical conductivity in the mesocarp of fruits for oil production (*Olea europaea L.*) in different stages of maturity, relating it to the values obtained from the measurement of electrical conductivity (Expressed in % of Full Scale) to establish objectively fruits maturity index, and determinate the optimal timing of collection based on parameters such as oil yield and fruit quality of the resulting oil. In two different cultivars, 'Picual' and 'Manzanilla de Sevilla', it has been determined that the electrical conductivity evolution in the mesocarp of the fruit increases according to ripeness stage. Likewise, each variety has a characteristic average value for the latter stages of ripening maturing.

Keywords: Conductimetry, rippening, olive growing.

Introducción y/o Justificación

La maduración de frutas y algunas hortalizas, es un proceso morfológico, bioquímico y fisiológico irreversible, inducido por factores genéticos y fitohormonales. La creciente demanda de almacenaje y transporte de los productos hortofrutícolas con fines comerciales, implica retrasar el periodo de maduración con el fin de alargar el periodo entre la recolección y el consumo y evitar la senescencia prematura. Esto ha dado lugar al desarrollo de nuevos métodos de manejo post cosecha basados principalmente en las técnicas de atmósfera controlada y atmósfera modificada. El uso de estas técnicas exigen poder controlar por una parte, el estado de madurez del fruto en el momento de la recolección y durante la conservación y por otra la influencia de la calidad comercial del fruto según el método de conservación (Montoya Lirola, 1992).

Además numerosos trabajos de investigación han sido enfocados a determinar parámetros de calidad e índices de madurez (Jackson y Weaver, 1966; Nelson, 1991; Ezeike, 1987). Cabe destacar el enorme impacto que ha supuesto en la industria agroalimentaria la revolución electrónica como herramienta indispensable para garantizar la calidad de los productos (Studman, 2001).

La determinación de las propiedades eléctricas se emplean en una amplia gama de disciplinas e industrias (Hlaváčová, 2003). En el sector agroalimentario, la medida de la Conductividad Eléctrica se aplica para especificar diversas propiedades en los productos agroalimentarios (Alwis y Mitchell, 1989; Nelson, 1991), así como para caracterizar otras propiedades como la tolerancia de los frutos a la congelación, el contenido de humedad y la germinación de semillas (Paine, et al., 2002).

Jackson y Weaver en 1966 (Jackson y Weaver, 1966), emplearon la medida de parámetros eléctricos en frutos como elementos de caracterización objetiva de la madurez del fruto, desde entonces se han desarrollado distintos métodos para definir los cambios en las propiedades eléctricas de los frutos durante la maduración (Montoya Lirola, 1992). Investigaciones recientes (Butz, *et al.*, 2005; Nelson y Nigmatullin, 2006; Abu Izneid, *et al.*, 2011), proponen el estudio de la impedancia eléctrica como una técnica no invasiva, tanto para la evaluación y análisis de la calidad de frutos, como para la cuantificación del índice de madurez sin ensayos destructivos de los mismos.

Este trabajo se centra en intentar establecer objetivamente el índice de madurez de diferentes variedades de la aceituna de almazara (*Olea europea L.*), para precisar el momento óptimo de su recolección atendiendo a los parámetros clave como son el rendimiento graso de los frutos y la calidad del aceite resultante. Para ello se ha desarrollado e implementado un conductímetro experimental de corriente alterna (CA) a 50 Hz de frecuencia, controlado mediante un microprocesador PIC18F2550 vinculado a PC mediante USB, que se ha empleado para medir la conductividad eléctrica en el mesocarpio de la aceituna en diferentes estadios de madurez, relacionándolos con los valores obtenidos de la medición de la conductividad eléctrica (expresada en % de Fondo de Escala).

Material y Métodos

La corriente continua (CC), produce un movimiento de electrolitos en la pulpa de la aceituna provocando una medición inestable y variable en el tiempo, resultando imprescindible el uso de corriente alterna (CA).

Se ha diseñado un circuito electrónico que tiene varias partes: (1) un transformador reductor de 230 V a 6 V en corriente alterna, que proporciona la señal de excitación a aplicar con una frecuencia constante de 50 Hz. Esta señal de excitación se divide con (2) un divisor resistivo en dos partes, una de ellas sobre una resistencia patrón de valor conocido y la otra sobre la propia pulpa del fruto. El valor de la tensión medida sobre esta última es rectificado por un rectificador a diodo (3) y finalmente es digitalizada por (4) un convertidor analógico digital (AD) con conexión USB que gestionado por un microcontrolador PIC 18F2550, permite el volcado de la información a un PC.

Las sondas empleadas para la medida de la conductividad eléctrica atienden a la ecuación 1:

$$S = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{A} \quad (1)$$

Siendo para el sensor empleado $K = L / A = 1$, S = conductividad, R = resistencia medida, L = separación entre los electrodos y A = el área de los mismos, resultando en este caso $S \cdot R = 1$.

El conductímetro emplea para su control dos programas escritos en lenguaje Basic. El microcontrolador PIC18F2550 del conductímetro fue programado con Pic Basic Pro Compiler y para el programa del P.C. se empleó Visual Basic 6.0. El programa del microcontrolador trabaja en un bucle cerrado realizando continuamente conversiones AD que son enviadas vía USB al P.C. Por su parte el programa del P.C desarrollado, realiza tres funciones simultáneas: recepción de los datos vía USB, conversión a niveles de resistencia (Ω) o de conductividad (S) y grabación de los datos en un fichero para su gestión posterior.

Para la conversión de niveles de tensión a niveles de resistencia o conductividad eléctrica se empleó una aproximación por esplines cúbicos. El fondo de escala se dividió en 17 segmentos y se procedió a su calibración con resistencias patrón de valor conocido para ajustar los límites entre cada intervalo.

Para correlacionar la Conductividad Eléctrica con la madurez de la aceituna y el rendimiento graso, se tomaron dos muestras de 100 frutos cada una, de las variedades 'Picual' y 'Manzanilla' en una finca sita en al sur de la provincia de Jaén, en la comarca de Sierra Mágina. El periodo de recogida se inició con el inicio oficial de campaña el 10 de noviembre de 2014 y se finalizó el 18 de diciembre de 2014.

En el primer ensayo, además de la conductividad eléctrica, se midió la Dureza de los frutos de muestras de las variedades 'Picual' y 'Manzanilla', en diferentes estadios de madurez determinado de forma subjetiva según el protocolo desarrollado por Ferreira en 1979 y Uceda y Frías en 1979, (Ferreira, 1979; Uceda y Frías, 1979). Para ello se empleó un penetrómetro digital PTR-200, acoplado sobre un puesto de medición de fuerza modelo PCE-MT S500 y controlado por un microprocesador de lectura rápida.

Los datos obtenidos fueron enviados a intervalos de 0,25 segundos por conexión RS232C desde el pentrómetro a un PC para su procesado.

En el segundo ensayo, en el que se ha tratado de relacionar la conductividad eléctrica con el rendimiento graso y la acidez del aceite resultante, las muestras de 100 frutos cada una, se dividió en submuestras de 50 frutos cada una, de modo que una parte se destinó a laboratorio donde se midieron los parámetros de rendimiento graso, expresado en % de Grasa sobre materia seca y el % de acidez del aceite expresado en %. Sobre la otra submuestra de 50 frutos, se midió la conductividad eléctrica.

Resultados y Discusión

En la tabla 1 se recogen los datos de Conductividad Eléctrica expresada en % F.E. y la Dureza en N/cm² para las 'Picual' y 'Manzanilla de Sevilla', respectivamente.

A rasgos generales, se observa cómo la Conductividad Eléctrica presenta tendencia a ir aumentando conforme va pasando el tiempo. Paralelamente la tendencia de los valores de la dureza es la de ir disminuyendo, lo cual es lógico ya que lo que se mide es la dureza de la pulpa que disminuye conforme aumenta el índice de madurez de la fruta. Esto sigue la tendencia descrita en diferentes estudios realizados anteriormente como el de Montoya Lirola (Montoya Lirola, 1992) sobre frutos climatéricos, o el de Arnold (Arnold, *et al.*, 2000) sobre el Kiwi (*Actinidia deliciosa*) en que observó que durante la maduración se produce una disminución de 10 veces la firmeza. También concuerda por lo descrito por Civantos (Civantos, 2008), que realizó un estudio sobre la evolución de firmeza en el fruto de la aceituna durante la maduración de la misma.

Encontramos los datos relativos a la variedad 'Picual' y 'Manzanilla de Sevilla'. De forma general, el índice de madurez (IM), en la variedad 'Picual' se incrementa de IM = 3,8, que sería el final del envero, el día 10 de noviembre, hasta IM = 7, que sería la plena madurez y que se alcanza ya el 15 de diciembre. En la variedad 'Manzanilla de Sevilla' para el mismo periodo aproximadamente, observamos primeramente un índice de madurez de 4,2 que coincide con el inicio de la maduración propiamente dicho, y llega hasta la madurez plena IM = 7, alcanzándose para este cultivar un poco antes que para la variedad 'Picual', esto es el 11 de diciembre.

Paralelamente y para ambos cultivares, se presenta un aumento de la Conductividad Eléctrica y una disminución en los valores de la dureza, que parece presentar un avance más o menos paulatino al inicio del ensayo presentando un cambio brusco al final del mismo, coincidiendo con la plena madurez de las aceitunas.

Para la variedad 'Picual', la conductividad eléctrica pasa de 25,3 % F.E. el 10 de noviembre a 32,03 % F.E. el 1 de diciembre, cuando la aceituna se acerca a alcanzar la madurez plena se produce un crecimiento más brusco en pasando de 36,97 % F.E. el día 4 de diciembre, al 53,88 % F.E. el día 18 de diciembre. En la variedad 'Manzanilla de Sevilla', se observa el mismo efecto presentando un crecimiento del 25,1 % F.E. el 10 de Noviembre, al 32,51 % F.E. el 4 de diciembre, disparándose su valor hasta el 50,87 % F.E. el día 18 de diciembre.

Simultáneamente, la dureza, parece presentar un patrón similar, aunque inverso, produciéndose un descenso muy brusco. En el caso de la variedad 'Picual' observamos un cambio brusco de 13,65 N/cm² el 8 de diciembre, a 1,3 N/cm² el 18 de diciembre, y

en variedad 'Manzanilla de Sevilla' este cambio se produce entre el 4 de diciembre con 11,6 N/cm² y el 18 de diciembre con 1,1 N/cm². Todo ello nos indica claramente una madurez plena de los frutos (Civantos, 2008; Barranco, *et al.*, 2008; Fernández Díaz, *et al.*, 1985; Ferreira, 1979).

Tabla 1. Medida del índice de madurez, conductividad eléctrica y dureza.

Variedad		‘Picual’		‘Manzanilla de Sevilla’		
Fecha	IM	% FE	Newton/cm²	IM	% FE	Newton/cm²
10/11/2014	3,8	25,3	17,4	4,2	25,1	15,5
13/11/2014	4,1	26,19	17,7	4,5	25,85	14,6
17/11/2014	4,6	26,28	17,78	4,7	26,1	14,4
20/11/2014	4,9	27,69	17,68	5,3	26,52	13,2
24/11/2014	5,2	30,23	16,83	5,7	27,97	12,8
27/11/2014	5,4	30,96	15,3	5,9	28,61	12,3
01/12/2014	5,8	32,03	15	6,3	28,88	11,9
04/12/2014	6,3	36,97	14,4	6,7	32,51	11,6
08/12/2014	6,6	40,58	13,65	6,9	43,49	9,7
11/12/2014	6,9	48,32	6,15	7	49,1	7,3
15/12/2014	7	53,05	1,5	7	49,46	1,9
18/12/2014	7	53,88	1,3	7	50,87	1,1

En lo que respecta a la evolución de la medida de la Conductividad Eléctrica, los resultados obtenidos muestran una tendencia al aumento progresivo de la misma durante la maduración, coincidiendo así con estudios anteriores, como el de Weaver y Jackson (Jackson y Weaver, 1966) donde sugieren la medida de impedancia eléctrica como índice objetivo de madurez en el melocotón (*Prunus pérsica L.*), observaron que la impedancia eléctrica aumentó progresivamente durante las cuatro semanas previas al alcance de la madurez de recolección y disminuyó a continuación con la maduración post cosecha del melocotón.

Las medidas efectuadas sugieren que cada variedad de aceituna parece tener un valor promedio característico de la conductividad en su fase madura, 'Picual' (35,96 % F.E.), y 'Manzanilla de Sevilla' (34,54 % F.E.). Cole y Hart (Cole y Hart, 1993), han demostrado un comportamiento similar en referencia a la distinción según cultivares para tres variedades de manzanas (*Malus domestica L.*) donde la Conductividad Eléctrica de Manzanas 'Roma' parece ser relativamente más altos que los de 'Granny Smith' y 'Red Delicious', aunque no fue hasta el año 2000 cuando Jackson y Harker (Jackson Harker, 2000) observan la influencia que tenía la variedad de manzana (*Malus domestica L.*) sobre la impedancia eléctrica. Ensayos posteriores en proximas campañas permitirán afianzar estos valores promedio de conductividad para cada variedad.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis de Dureza de frutos, muestran como la Dureza disminuye con la maduración del fruto, siguiendo los patrones de investigaciones anteriores existentes en frutos climatéricos (Montoya Lirola, 1992) y sobre la propia aceituna según Civantos, Barranco, Fernández y Ferreira. (Civantos, 2008; Barranco, *et al.*, 2008; Fernández Díaz, *et al.*, 1985; Ferreira, 1979).

El estudio entre las propiedades eléctricas (la Conductividad Eléctrica en nuestro caso) y mecánicas, como es la Dureza de frutos, nos muestra que la medida de las propiedades electricas pueden constituir una medida objetiva de la maduración de aceitunas, ya propuesto para otros frutos y vegetales en investigaciones recientes (Abu Izneid, *et al.*, 2011; Nelson y Nigmatullin, 2006; Butz, *et al.*, 2005; Arnold, *et al.*, 2000; Montoya Lirola, 1992; Nelson, 1991; Jackson & Weaver, 1966).

En la Tabla 2 se presentan los resultados de medir por un lado la conductividad eléctrica, expresada en % F.E. y el porcentaje de acidez calculado por volumetría, y el rendimiento graso expresado mediante el cálculo en porcentaje de la grasa sobre la muestra seca, de cada muestra.

Atendiendo a la acidez, tan sólo cabe destacar el incremento paulatino que presentan ambas variedades conforme la aceituna va madurando. Sin embargo este dato por sí solo no se puede considerar como un parámetro determinante para la calidad del aceite resultante.

El rendimiento graso, expresado como grasa sobre materia seca en %, presentó un valor máximo de 49,7 % para la variedad 'Picual'. De forma general esta variedad es la que mayor porcentaje de grasa total media presenta, lo que concuerda con la bibliografía consultada y que sitúa a esta variedad como una de las que presenta mayor rendimiento graso (Barranco, *et al.*, 2008). Por otra parte, la variedad 'Manzanilla de Sevilla' presentó un valor máximo de 42,12 % de grasa sobre materia seca, al final del ensayo.

El porcentaje de grasa sobre materia seca parece estar relacionado con los valores de la Conductividad Eléctrica obtenidos de forma paralela en las mediciones que se realizaron sobre las submuestras que se destinaron a tal efecto, según el protocolo ya descrito y cuyos valores se resumen en la Tabla 2. La conductividad eléctrica está expresada en porcentaje del Fondo de Escala y para ambas variedades se presenta un incremento que se vuelve brusco al final del ensayo cuando ya la aceituna se encuentra cerca de la maduración completa. Para la variedad 'Picual' este incremento se produce entre el 8 y el 15 de diciembre, pasando de 37,15 % F.E. a 54,01 % de F.E., mientras que para la variedad 'Manzanilla de Sevilla' este incremento más pronunciado, se produce entre el 1 y el 8 de diciembre, donde se observa que pasa del 31,26 % F.E. al 51,31 de % F.E. Nuevamente serán necesarios ensayos posteriores en proximas campañas que permitirán afianzar estas correlaciones entre porcentaje de grasa sobre materia seca y la conductividad eléctrica.

Tabla 2. Medida de la, Conductividad Eléctrica, Grasa sobre materia seca y % de acidez.

Variedad		'Picual'		'Manzanilla de Sevilla'		
PARÁMETROS	F.E.	GRASA S.M.S.	Acidez	F.E.	GRASA S.M.S.	Acidez
FECHA	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
10/11/2014	26,18	42,8	0,11	24,29	42,26	0,18
17/11/2014	27,32	43,12	0,14	25,92	42,32	0,23
24/11/2014	31,15	45,2	0,17	27,52	42,5	0,27
01/12/2014	34,51	46,32	0,19	31,26	42,73	0,31
08/12/2014	37,15	47,89	0,23	44,79	42,96	0,36
15/12/2014	54,01	49,7	0,26	51,31	43,12	0,38

Para las dos variedades se aprecia que el porcentaje de Fondo de Escala disminuye a medida que pasa el tiempo. Estos resultados nos hacen intuir que la Conductividad Eléctrica puede que realmente esté relacionada con el porcentaje de grasa sobre materia seca que se incrementa a medida que se incrementa el Índice de Madurez del mismo. Además esta relación parece ser que es específica para cada variedad analizada, sin embargo los resultados no son del todo concluyentes por los escasos datos que poseemos.

Conclusiones

El uso de corriente alterna de 50 Hz para la medida de la parte real de la impedancia compleja del mesocarpio de la aceituna (conductividad) ha demostrado ser útil como parámetro para caracterizar el índice de madurez de la misma.

El uso de un convertidor analógico digital (ADC) de ocho bits, es suficiente para expresar con suficiente resolución la conductividad medida.

Se ha obtenido una relación empírica entre la medida del ADC y los parámetros habituales de resistencia y de conductividad útil para su implementación en interpolaciones con esplines cúbicos.

Las medidas efectuadas sugieren que conforme la aceituna madura, la Conductividad Eléctrica (expresada en % F.E.) aumenta y la Dureza expresada en N/cm² se reduce para las variedades estudiadas.

Simultáneamente, conforme avanza el tiempo el % de grasa sobre materia seca aumenta y la Conductividad Eléctrica, expresado en % de F.E. también aumenta, lo que hace sospechar que existe una relación entre ambos parámetros.

Cada variedad de aceituna parece tener un valor promedio característico de la conductividad en su fase madura.

Bibliografía

- Abu Izneid, B. A.; Rehman, M.; Rizal Arshad, M. ; Zaid Abdullah, M. 2011. Assessment of quality of fruits using impedance spectroscopy. *International Journal of Food Science and Technology*, Issue 46, 1303–1309.
- Alwis, A. ; Mitchell, F. 1989. Electrical conductivity meter for food samples. *IOPscience*, Issue 22, 554-556.
- Arnold, W; Bauchot, A; Harker, F. 2000. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 18, 9-18.
- Barranco D.;Fernández-Escoba R.; Rallo, L. 2008. *El Cultivo Del Olivo*. sexta ed. s.l.:Mundi-Prensa.
- Butz, P.;Hofmann, C.; Tauscher, B. 2005. Recent Developments in NoninvasiveTechniques for Fresh Fruit and Vegetable Internal Quality Analysis. *Journal Of Food Scince*, 70(9), 131-141.
- Civantos, L. 2008. La producción oleícola. En: *Obtención del Aceite de Oliva Virgen*. 3ª ed. Madrid: Agrícola Española S.A., 25-32.
- Civantos, L. 2008. Aspectos previos a la elaboración. En: *Obtención del Aceite de Oliva Virgen*. 3ª ed. Madrid: Agrícola Española S.A., pp. 39-51.
- Cole, W. ; Hart, F. 1993. Dielectric properties of apples in the range 0.1-100 kHz. *Journal of Materials Science*, 28, 621-631.
- Ezeike, G. 1987. A Resistive Probe Moisture Sensor for Tropical Root Crops and Vegetables. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 37, 15-26.
- Fernandez Díaz, M.J; Castro, R.; Garrido, A.; Gonzalez, F.; Gonzalez Nosti, M.; Heredia, A.; Minguéz, M.I.; Rejano, L.; Durán, M.C.; Sánchez, F.; Gárcia, P.; De Castro, A., 1985. *Biotechnología de la Aceituna de Mesa*. Ed. Científicas, Instituto de la Grasa y sus derivados. Consejo superior de Investigaciones. Madrid-Sevilla.
- Ferreira, J. 1979. *Explotaciones olivareras colaboradoras*, Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Hlaváčová, Z. 2003. Low frequency electric properties utilization in agriculture and food treatment. *Research in Agricultural Engineering*, Issue 49, 125-136.
- Jackson, H.; Weaver, G. 1966. Electric impedance, an objective index of maturity in peach. *The Canadian Journal of Plant Science*, 46, 323-326.
- Jackson, P.; Harker, F. 2000. Apple Bruise Detection by Electrical Impedance Measurement. *Hortscience*, 35, 104-107.
- Montoya Lirola, M. 1992. Estudio de la conductividad eléctrica como índice de madurez en frutos climatéricos y su evolución durante la conservación frigorífica en atmosfera normal y modificada. Tesis Doctoral. UNED. Madrid.
- Nelson, S. 1991. Dielectric Properties of Agricultural. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 26(5), 845-869.
- Nelson, S.; Nigmatullin, R. 2006. Recognition of the “fractional” kinetics in complex systems: Dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0,01 to 1,8GHz. *Signal Processing*, 2744–2759.
- Paine, D.; Repo, T.; Taylor, S. 2002. Electrical impedance spectroscopy in relation to seed viability and moisture content in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science Research*, Issue 12, 17-29.
- Studman, C. 2001. Computers and electronics in postharvest. *Computers and Electronics in Agriculture*, Issue 30, 109-124.
- Uceda, M. y Frías, L. 1975. Harvest dates: evolution of the fruit oil content, oil composition and oil quality. *Proceedings II Seminario Oleícola Internacional*. COI. Córdoba. 125-128.

*SESIÓN IX: AGRICULTURA DE
PRECISIÓN Y TECNOLOGÍA DE
LA INFORMACIÓN*

AP01 - Medición del porcentaje de madurez en ramas de café mediante dispositivos móviles y visión por computador

Ramos, P.^{1,2}; Prieto, F.², Oliveros, C.¹, Aleixos, N.³, Albert, F.³, Blasco, J.⁴

¹ Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, km 4 vía antigua Chinchina – Manizales, Colombia. Email: {paula.ramos, carlos.oliveros}@cafedecolombia.com.

² Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Carrera. 45 # 26-85, Bogotá D.C., Colombia. Email: faprieto@unal.edu.co.

³ Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España. Email: {fraalgi1, naleixos}@dig.upv.es

⁴ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Crta. Moncada-Náquera km 5, 46113 Moncada (Valencia), España. Email: blasco_josiva@gva.es

Resumen

Actualmente, la cosecha de café en Colombia se realiza de manera manual, tiene un alto requerimiento de mano de obra y es responsable del 40% de los costos de producción. Para determinar las necesidades de mano de obra, los productores realizan estimaciones de la producción mediante métodos destructivos o subjetivos. Este trabajo investiga el desarrollo de una estrategia, basada en el análisis de imágenes, para planificar la cosecha del café a través de la estimación no destructiva del porcentaje de frutos maduros (PM) en las ramas. Para la puesta a punto de la metodología, se adquirieron imágenes utilizando un teléfono móvil en diferentes condiciones de campo a un total de 69 ramas de café variedad Castillo®, con un PM entre el 10% y el 70%. Debido a la longitud de las ramas (entre 40 y 60 cm), se capturaron varias imágenes de cada rama, obteniendo un total de 280 imágenes. Para segmentar las imágenes se utilizó la aplicación Food-ColorInspector (<http://www.cofilab.com>) y para cada rama se obtuvo mediante esta aplicación el área correspondiente a tres estados de madurez de los frutos (inmaduro, semimaduro y maduro), que se asoció al PM. Adicionalmente, se realizó el conteo manual de los frutos en los distintos estados de maduración. Se utilizaron 23 ramas escogidas al azar para crear un modelo lineal de estimación entre los porcentajes de madurez obtenidos mediante el análisis de las imágenes y el análisis manual. El modelo obtuvo un coeficiente de determinación $R^2=88\%$, con un error promedio absoluto del 3,9% entre el PM estimado a mano y mediante análisis de imagen. Posteriormente, este modelo se validó con 46 ramas restantes, obteniendo un $R^2=75\%$ y un error promedio de 5,5%. Los resultados son prometedores para la creación de herramientas que automaticen la actual estimación manual de cosecha del café mediante el uso de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, al alcance de cualquier caficultor.

Palabras clave: Caficultura, planeación de cosecha, análisis de imágenes, agricultura de precisión.

Measuring the percentage of maturity on coffee branches using mobile devices and computer vision

Abstract

Nowadays the harvesting of coffee in Colombia is done manually, has a high demand for labour and is responsible for 40% of production costs. To provide hiring staff, producers make destructive or subjective estimations of the yield production. This work aims to generate an automatic strategy for planning the coffee harvest through nondestructive estimation of the percentage of mature fruits (PM) by means of image analysis. Images of 69 coffee branches of Castillo® variety were acquired using a mobile phone in different field conditions, having a real PM between 10% and 70%. Due to the high length of the branches (40 to 60 cm), multiple images along each branch were captured, obtaining a total of 280 images. The Food-ColorInspector application (<http://www.cofilab.com>) was used to segment the images, and the area corresponding to three stages of maturity of fruits (immature, half-ripe and full-ripe) was obtained for each branch. Additionally, manual counting of the fruits at different ripening stages was performed. A total of 23 branches were used to create a linear model using the percentages of maturity obtained by image analysis and manual analysis. The model obtained a coefficient of

determination $R^2=88\%$, with an absolute average error of 3.9% between the PM estimated by hand and by image analysis. Subsequently, this model was validated with the remaining 46 branches, obtaining a $R^2=75\%$ and an average error of 5.5%. The results are promising to create tools to automate current manual yield prediction of coffee by using mobile devices such as smartphones, available to any farmer

Keywords: Coffee cultivation, harvest planning, image analysis, precision agriculture.

Introducción

La productividad de un cultivo se mide como la masa por unidad de área que es producida en un rango de tiempo determinado, es un indicador estimado a través de diferentes modelos basados en históricos de producción, modelos econométricos, modelos de la dinámica climática, deficiencia o exceso de un elemento químico, características del suelo, incidencia de plagas o enfermedades y fenología de la planta. La productividad de un cultivo es un dato estratégico para el gobierno, las empresas agroindustriales, los agricultores y los comercializadores, ya que se puede emplear en el planteamiento de políticas de seguridad alimentaria, políticas para disminuir el riesgo económico de producción por déficit/exceso del producto, planeación de labores en la finca como cosecha y poscosecha, etc.

Para el caso del café de Colombia, entes gubernamentales definen estrategias nacionales a partir de métodos econométricos (Martínez 2006). Otros autores, como por ejemplo, Rendón et al. (2008) o Arcila et al. (2007), han definido modelos basados en variables de tipo fenológico basados en estructuras vegetativas del árbol estrechamente ligadas con la producción, como flores, frutos, glomérulos y ramas. Por otro lado, Cilas y Descroix (2004) y Upreti et al. (1991) han utilizado modelos para estimar la producción de café en función de variables endógenas, como los diferentes componentes de la producción de la planta, es decir, el número de tallos por planta, el número de racimos por rama, el número de frutos por racimo, y el número de de racimos por planta. Cilas y Descroix (2004) estimaron el número de frutos por planta utilizando la Ecuación 1

$$\overline{F} = s_t \cdot b_s \cdot g_b \cdot f_g \quad (1)$$

donde S_t es el número de tallos por árbol, b_s es el número de ramas por tallo, g_b es el número de glomérulos por rama y f_g es el número de frutos por glomérulo. Adicionalmente, reportaron métodos estratificados para diferentes áreas, alturas, suelos, relaciones área/suelo y área/altitud, con error de estimación inferior al 3,19%.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FEDECAFÉ) realiza actualmente la estimación de la producción Nacional de café con mediciones directas en campo, a partir de un muestreo destructivo sobre una muestra de 60 árboles por hectárea, en un área de 2.000 ha, sobre las 900.000 ha sembradas en café, logrando estimaciones con un 5% de error. Este muestreo destructivo se realiza dos veces por año y requiere extraer y pesar todos los frutos de café presentes en los árboles, lo que conlleva un considerable esfuerzo y coste. Esto se realiza de esta manera ya que no existen métodos no destructivos de estimación o herramientas costo-eficientes que permitan identificar la producción del cultivo y programar labores agrícolas. Esta información permitiría manejar los recursos de manera más eficiente, determinar con precisión las necesidades de mano de obra para la recolección, prever los insumos para el proceso de poscosecha y pactar una negociación anticipada de su producción.

La visión artificial es una tecnología ampliamente utilizada en agricultura (Cubero et al., 2011). Por ello, este trabajo propone una metodología para medir la producción de café en rama de manera no destructiva, usando un dispositivo móvil y análisis de imágenes.

Generalidades de café

Un árbol de café de la variedad Castillo® alcanza alturas de 2,5 m y florece a partir del doceavo mes después de la siembra en cultivos tecnificados en la zona central cafetera (Figura 23). El tallo mide entre 7 y 8 cm de diámetro, cuenta en promedio con 40 ramas productivas. La maduración del café no se produce de manera homogénea (todos los frutos al mismo tiempo), en cada árbol, cada fruto evoluciona de forma diferente permitiendo la presencia de frutos con grados de madurez, dificultando la estimación de la producción. Durante el proceso de maduración del café se identifican cuatro etapas que comprenden entre 30 y 36 semanas dependiendo de la climatología (Salazar et al. 1993): la primera va desde la floración hasta la semana número siete, el crecimiento es lento, el color de los frutos es verde y aún no hay formación de la semilla. La segunda etapa comprendida entre las semanas 8 y 25 después de la floración, se caracteriza por un crecimiento rápido de los frutos tanto en tamaño como en peso fresco; a partir de la semana 18 comienza la formación de la semilla hasta que completa su desarrollo. En la tercera etapa, semanas 26 a 32, tiene lugar la maduración, el fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado. Finalmente, la cuarta etapa se presenta después de la semana 32 y se caracteriza porque el fruto se sobremadura y se seca (Salazar et al. 1994). En general, durante estas etapas se presentan cambios físicos y químicos que se han estudiado para conocer su incidencia en la calidad de la bebida (Marín et al. 2003, Ramos et al. 2010, Sanz et al. 2008, Aristizábal et al. 2012). En estos estudios, se ha demostrado que características como el color, tamaño, peso, entre otros, logran diferenciar los frutos por su desarrollo (Figura 24).

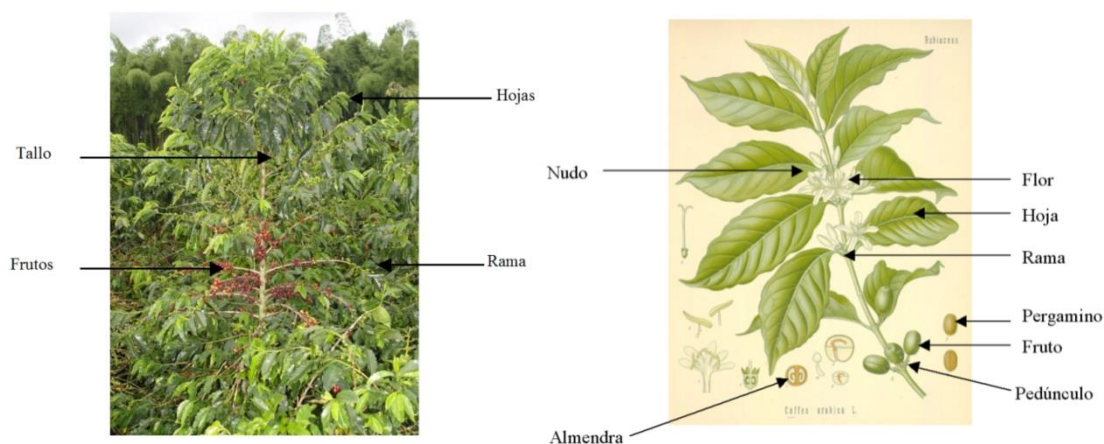


Figura 23. Árbol de café Variedad Castillo®, Cardona 2006 y Estructuras vegetativas de una rama de café, Köhler 1887.

Como se puede observar en la Figura 24, el proceso de maduración se relaciona directamente con el cambio de color del fruto de café. Este cambio va desde el color verde hasta el rojo intenso, pasando por tonalidades amarillas y naranjas. En la fase de postmaduración el fruto tiene tonalidades violeta o negras. La oferta de frutos en una rama puede ser variable e incluir múltiples estados de desarrollo durante todo el año, sin embargo, deben ser cosechados solo aquellos maduros y sobremaduros, los pintones o

semimaduros (con madurez fisiológica de color anaranjado) y verdes (inmaduros) deben esperar otro pase (momento) de recolección, presentándose cerca de 18 pases por año.

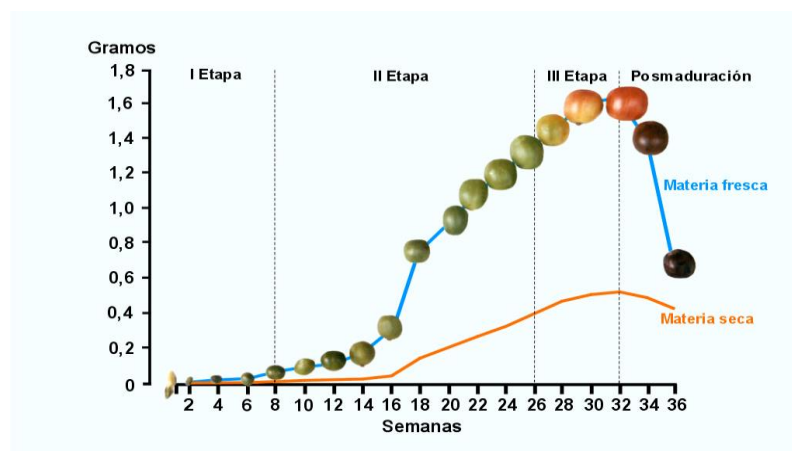


Figura 24. Desarrollo de los frutos de café después de la floración, (fuente: FEDECAFÉ).

El objetivo de este trabajo es construir un modelo para determinar la producción de una rama de café a partir del conteo de frutos en cada estado de maduración en una sola vista de la rama, utilizando imágenes adquiridas mediante dispositivos móviles. Para ello se han desarrollado algoritmos de análisis de imágenes que permiten diferenciar los distintos estados de maduración de los frutos del café en la rama.

Material y Métodos

El experimento se llevó a cabo durante los meses de diciembre de 2013 y abril de 2014 en 69 ramas seleccionadas de café de la variedad Castillo®. Cada rama contenía frutos en cuatro estados de desarrollo: inmaduro (Etapa II), pintón (inicio - Etapa III), maduro (final – Etapa III) y sobremaduro (Etapa IV), de acuerdo con lo descrito en la Figura 2. Las ramas se obtuvieron de árboles de café de segunda y tercera cosecha, sembrados en la Estación Central Naranjal de Cenicafe ubicada en Chinchiná, Caldas (Colombia), específicamente en 4°58'N, 75°39'W a 1381 m de altitud sobre el nivel del mar.

Se adquirieron imágenes con un tamaño de 3264 x 2448 píxeles con una cámara integrada en un dispositivo móvil, Samsung S5 SM-G900M, dispuesta entre 8 y 15 centímetros de la rama. Las imágenes se adquirieron en el campo con dos condiciones de iluminación: soleado y nublado. El fondo de las imágenes estaba conformado por suelo, malas hierbas y hojas secas. Debido a la longitud de las ramas (entre 40 y 60 cm), se capturaron varias imágenes a lo largo de cada rama, obteniendo un total de 280 imágenes para las 69 ramas. Imágenes pertenecientes a la misma rama se combinaron para dar un resultado único por rama. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de las imágenes adquiridas a una rama de café.

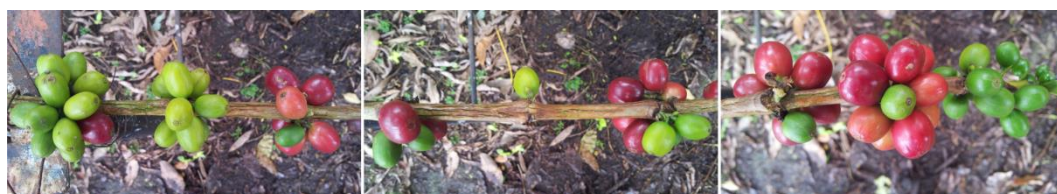


Figura 25. Conjunto de imágenes para una rama de café.

Una vez tomadas las imágenes se extrajeron, contaron, pesaron y clasificaron los frutos década rama para cada estado de desarrollo (maduro, semimaduro e inmaduro). La clasificación manual de referencia se realizó por un panel de expertos. Para la medición del peso se utilizó una balanza de precisión (PB8001-S, Mettler Toledo, Greifensee, Suiza), con resolución 0,1g.

Las ramas utilizadas en este trabajo tenían un porcentaje de maduración entre el 10% y el 70%, como se muestra en la distribución de frutos maduros de la Figura 26, que muestra la proporción de los distintos estados de desarrollo. Se observa la escasa presencia de frutos semimaduros y la predominancia de frutos inmaduros en las ramas utilizadas. En este trabajo se ha creado una herramienta para determinar la proporción de frutos maduros presentes en las ramas evaluadas, con el objetivo de que esta información se pueda utilizar en la programación de labores de recolección.

Análisis de imágenes

Se utilizaron diez imágenes (tres ramas) tomadas en diferentes condiciones de iluminación para crear el modelo de segmentación mediante la aplicación Food-ColorInspector (disponible en <http://www.cofilab.com>). Esta aplicación permite crear un modelo de clasificación de píxeles basado en análisis discriminante lineal a partir de las coordenadas de color de una selección manual de píxeles pertenecientes a diferentes regiones de interés (clases). Estas regiones de interés correspondieron a fondo, frutos inmaduros, semimaduros y maduros, Figura 27

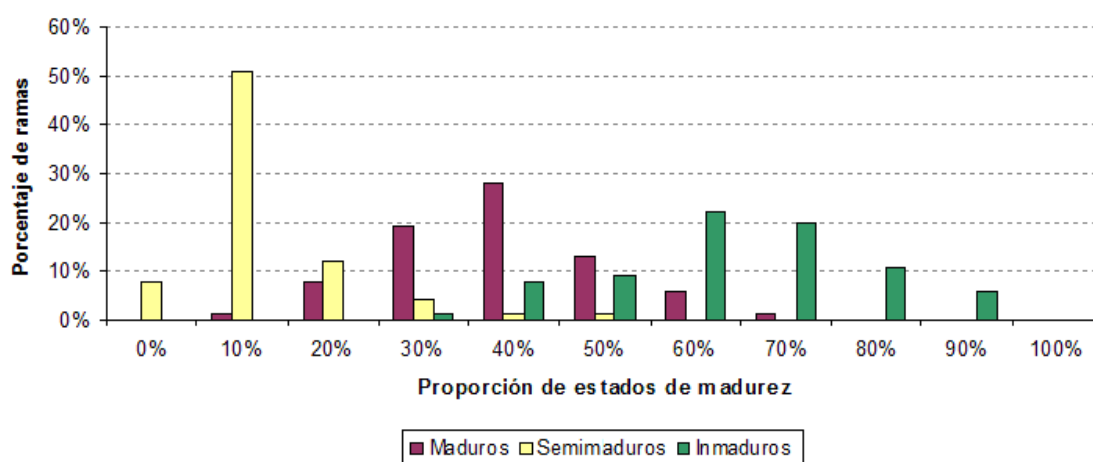


Figura 26. Proporción de frutos por estado de desarrollo, maduro, semimaduro e inmaduro en las ramas utilizadas.

El modelo de segmentación se aplicó segmentar el resto de las imágenes obteniendo para cada imagen el número de objetos de cada clase y el área cada objeto encontrado. Las características de interés, en este caso, fueron áreas de los objetos clasificados como frutos maduros, semimaduros e inmaduros. Para cada objeto encontrado en la imagen se calculó su área y se realizó un filtrado para eliminar los objetos de pequeño tamaño que se consideraron ruido.



Figura 27. Procesamiento de imágenes, segmentación, filtrado de tamaño, analizador de objetos y contornos.

Para el conjunto de imágenes de una rama se obtuvo el área total de los objetos pertenecientes a las clases maduros, semimaduros e inmaduros. Se determinó el porcentaje de maduración (PM) como la relación entre el sumatorio del área perteneciente a todos objetos maduros y la suma de las áreas de todos los objetos pertenecientes a las tres clases (Ecuación 2).

$$PMI_r = \frac{\sum_r A_{md_i}}{\sum_r A_{md_i} + \sum_r A_{sm_i} + \sum_r A_{in_i}} \quad (2)$$

donde PMI_r es el porcentaje de maduración estimado mediante análisis de imagen para la rama r , y A_{md_i} , A_{sm_i} y A_{in_i} es el área de los objetos de cada clase encontrados en la imagen i perteneciente a la rama r , respectivamente.

Construcción y validación del modelo de estimación

Como referencia se empleó el porcentaje de frutos maduros medidos de forma manual calculado como la relación entre el número de frutos maduros y la totalidad de frutos presente en la rama, como se expresa en la Ecuación 3.

$$PMR_r = \frac{\sum_r F_{md}}{\sum_r F_{md} + \sum_r F_{sm} + \sum_r F_{in}} \quad (3)$$

donde PMR_r es el porcentaje de frutos maduros estimado de forma manual para la rama r , y F_{md_i} , F_{sm_i} y F_{in_i} es el número de frutos maduros, semimaduros e inmaduros de la rama r .

Se obtuvo un modelo de regresión lineal entre las variables PMI y PMR utilizando 23 ramas escogidas de manera aleatoria. Se identificó la expresión lineal que relaciona ambas variables y se estimó el coeficiente de determinación del modelo y el error de estimación para estas 23 ramas. Posteriormente el modelo se validó aplicándolo a las 46 ramas restantes.

Resultados y Discusión

La Figura 28 muestra la recta de regresión obtenida para las ramas de entrenamiento considerando como variable independiente *PMI* y variable dependiente *PMR*. El modelo matemático descrito en la Ecuación 4 determina como variable a calcular porcentaje de maduración estimada (*PME*).

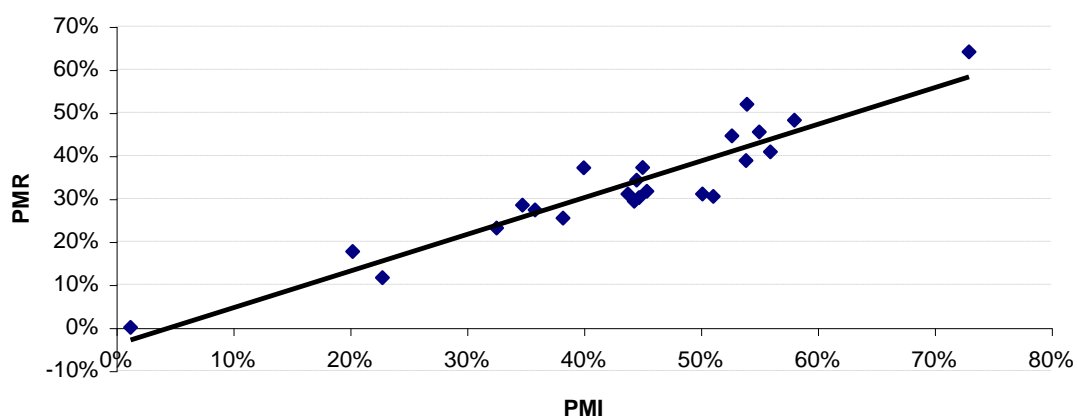


Figura 28. Diagrama de dispersión y línea de tendencia para *PMR* y *PMI*.

$$PME_r = 0,853 \cdot PMI_r - 0,04 \quad (4)$$

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explicó el 87,82% de la variabilidad en *PMR*. El coeficiente de correlación de Pearson obtenido fue de 0,94, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables *PMR* y *PMI*. El error absoluto medio obtenido como el valor promedio de los residuos fue de 3,9%.

Para la validación del modelo se aplicó la Ecuación 4 a los valores *PMI* y se comparó el resultado obtenido con el valor *PMR* medido, considerando el error como la diferencia entre *PMR* y *PME*, ecuación 5 y Figura 29.

$$err = PMR - PME \quad (5)$$

En la validación del modelo se obtuvo un $R^2=75\%$ y un error absoluto medio del 5,5%, Figura 29.

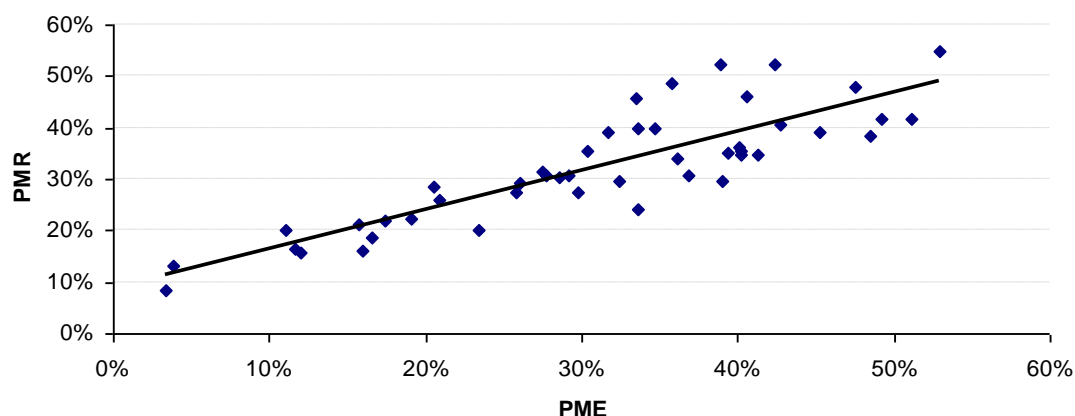


Figura 29. Diagrama de dispersión para PME vs. PMR.

Los resultados obtenidos son prometedores para el desarrollo de herramientas que permitan agilizar la estimación manual de cosecha del café utilizando dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, al alcance del caficultor. Aunque en este trabajo las imágenes se analizaron en un ordenador personal, la adquisición, que es uno de los puntos más importantes y críticos del proceso, se realizó con un dispositivo móvil en condiciones de campo lo que permite pensar en una aplicación real para la caficultura colombiana. No obstante, en este momento se está trabajando en el desarrollo de una aplicación para el procesamiento de imágenes en el propio dispositivo móvil para, de esta forma, poner al alcance del caficultor algunas tecnologías rápidas, objetivas y no destructivas que apoyen la programación de labores agrícolas como la recolección.

El porcentaje de maduración de las muestras utilizadas, tanto para el entrenamiento como para la validación, representa la distribución típica de la producción para la zona central cafetera en Colombia. Por esta razón, el modelo puede funcionar en óptimas condiciones para esta región mientras que para validar el método en otras regiones, sería necesario realizar nuevamente una calibración y ajuste del modelo. Los ensayos se han realizado con ramas extraídas de los árboles y llevadas a un entorno donde se asemeje su posición y el fondo real, por lo que es necesario un siguiente paso para replicar la metodología en un árbol completo.

Como principales limitaciones del método y fuentes de error se han encontrado una confusión entre píxeles correspondientes a hojas o tallos y píxeles correspondientes a frutos inmaduros, así como una confusión entre píxeles pertenecientes a tallos secos con píxeles pertenecientes a frutos semimaduros. Por este motivo es importante continuar la investigación en métodos basados en el análisis geométrico de las regiones de interés, capaces de separar de una forma aun más eficaz estas clases que presentan colores similares.

Conclusiones

Se ha creado un método para distinguir frutos en distintos estados de maduración a través del análisis de imágenes adquiridas con un dispositivo móvil. Las correlaciones halladas entre el método manual y el método no destructivo desarrollado son relativamente altas. Este trabajo sienta las bases para la estimación de la producción en ramas de café de manera no destructiva mediante análisis de imágenes adquiridas con

dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, en condiciones de campo, sin ningún tipo de procesamiento adicional para mejorar las condiciones de las imágenes adquiridas.

Agradecimientos

Los autores expresan especiales agradecimientos al Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Bibliografía

- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L.F., Hincapié, E. 2007. Sistemas de Producción de café en Colombia. Ed. FNC-Cenicafé, Manizales (Caldas), Colombia.
- Aristizábal, I.D., Carvajal, J.J., Oliveros, C.E. 2012. Physical and mechanical properties correlation of coffee fruit (*Coffea arabica*) during its ripening. *Dyna* 79, 148–155.
- Cardona J.A. 2006. Diseño de una máquina portátil para la cosecha asistida de café. Trabajo de Pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Cilas, Ch., Descroix, F. 2004. Yield Estimation and Harvest Period. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Wintgens, J.N. (editor). Ed. Wiley-VCH, Weinheim, Alemania.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J. 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology* 4, 487-504.
- Koheler, H.A. 1887. Köhler's Medizinal-Pflanzen. Ed Franz Eugen Köhler, Gera, Alemania.
- Marín, S., Arcila, J., Montoya, E., Oliveros, C. 2003. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Revista Cenicafé* 54, 208–225.
- Martínez, V.C. 2006. Archivos de Economía: Pronósticos de producción agrícola. República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos. Doc. 305. Disponible en <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/305.pdf>. Último acceso Abril 2015.
- Ramos, P.J., Sanz, J., Oliveros, C. 2010. Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real, a través de la medición de color. *Revista Cenicafé* 61, 315–326
- Rendón S., J.R., Arcila, J. and Montoya, E.C. 2008. Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé* 59, 238–259.
- Salazar, M.R., Arcila, J., Riaño, N.M., Bustillo, A.E. 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. *Avances Técnicos Cenicafé* 194, 1-4.
- Salazar G., M. R., Chaves, B., Riaño, N.M., Arcila, J. Jaramillo, A. 1994 Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* var. Colombia. *Revista Cenicafé* 45, 41–50.
- Sanz, J.R., Ramos, P.J., Oliveros, C.E. 2008. Algorithm to identify maturation stages of coffee fruits. *IAENG, Special Edition of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS'08 (I)*, 167–174.
- Upreti, G., Bittenbender, H.C., Ingamells, J.L. 1991. Rapid estimation of coffee yield. In *Proc. of Quatorzieme colloque scientifique international sur le café*. San Francisco, 14-19 Julio 1991, pp. 585-593.

AP02 - Estimación del Índice de Color de los Cítricos utilizando dispositivos móviles

Cubero, S.¹, Albert, F.², García Fernández-Pacheco, D.³, Prats-Moltalbán, J.M.⁴, Blasco, J.¹, Aleixos, N.²

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. e-mail: {cubero_ser, blasco_josiva@gva.es} ² Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: {fraalgi1, naleixos@dig.upv.es} ³ Departamento de Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Cronista Isidoro Valverde, 30202 Cartagena, Murcia, España. e-mail: daniel.garcia@upct.es ⁴ Grupo de Ingeniería Estadística Multivariante, Departamento de Estadística e IO Aplicadas y Calidad. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: jopramon@eio.upv.es

Resumen

Los primeros cítricos se recolectan en España antes de que hayan alcanzado su típico color naranja. Sin embargo, para su llegada al mercado es necesario que alcancen un cierto color comercial, por lo que la fruta se somete a ciertos tratamientos de desverdizado cuya duración depende de su color en el momento de recolección medido según estándar Índice de Color de los Cítricos (ICC). Para estimar este índice, las frutas se comparan con unas tarjetas de colores que representan la piel de cítricos con diferentes índices o se utilizan colorímetros. Para facilitar la medida de este índice, se ha desarrollado una aplicación gratuita para dispositivos móviles basados en Android que utiliza técnicas de procesamiento de imágenes utilizando la cámara incorporada en el dispositivo. Las imágenes de un fruto se analizan en vivo para obtener su ICC. Para ello, se calcula el valor promedio de las coordenadas de color RGB (rojo, verde, azul) de un área circular preseleccionada en la imagen y se transforma al espacio de color HunterLab para finalmente calcular el ICC. Para validar este método, se realizaron varias pruebas tanto en campo como en condiciones de laboratorio con diferentes variedades de naranjas (Navel, Bonanza, Cram y Navelina) en diferentes estados de madurez, y se utilizaron diferentes dispositivos Android con diversas características. Las mediciones obtenidas se compararon con los resultados proporcionados por un colorímetro ampliamente utilizado en la industria para esta tarea. Los valores de R^2 obtenidos oscilaron entre el 0,96 y el 0,98 dependiendo de las cámaras de los dispositivos móviles probados, lo que muestra la robustez y fiabilidad de la aplicación móvil desarrollada para ser utilizada como ayuda en la toma de decisiones sobre la recolección o desverdización de estas frutas.

Palabras clave: Análisis de imagen, desverdización, postcosecha, condiciones de campo, nuevas tecnologías.

Estimation of the Citrus Colour Index using mobile devices

Abstract

The first citrus fruits harvested in Spain before they have reached their typical orange. However, before being sent to market, it is necessary that the fruit reaches a certain commercial color, so the fruit is subjected to treatments of degreening whose duration depends on its color at harvest according to standard Citrus Color Index (ICC). To estimate this index, fruits are compared with charts representing the citrus skin with different colour indices or colorimeters are used to determine the colour. In order to facilitate the estimation of this index, a free application that uses image processing techniques has been developed for Android-based mobile devices using the built-in camera of the device. Images of a fruit are captured and analyzed in-vivo to obtain the ICC. For this, the average value of the colour coordinates (red, green, blue) of a circular spot in the image is calculated and transformed into the HunterLab color space to calculate finally the ICC. In order to validate this method, several tests were carried out in both, the field and under laboratory conditions with different varieties of oranges (Navel, Bonanza, Cram and Navelina) at different stages of maturity, and using different Android devices. The measurements obtained were compared to the results provided by a colorimeter. The R^2 values obtained ranged from 0.96 to 0.98 for the different tested mobile devices, showing the robustness and reliability of the

mobile-based application developed to be used to assist in the decision making about the harvesting time or treatment of these fruits.

Keywords: Image analysis, degreening, postharvest, in-field conditions, new technologies.

Justificación

Uno de los principales atributos que un cliente tiene en cuenta a la hora de elegir un producto agroalimentario es el color, ya que directamente lo asocia a la frescura o madurez del mismo (Campbell *et al.*, 2004). El caso de los cítricos no es una excepción. Normalmente, los cítricos se recolectan de forma manual, se cargan en cajas y se transportan a almacenes frutícolas, donde la fruta es tratada, clasificada y almacenada hasta su venta. Sin embargo, la recolección depende directamente del estado de madurez de la fruta, sobre todo al inicio de la campaña, y el principal indicador que se utiliza es su color. Según sea este, la fruta tendrá un tratamiento en los almacenes, ya que la fruta que no ha alcanzado un color comercial debe someterse a tratamientos de desverdizado en cámaras. La duración de estos tratamientos dependerá de su grado de madurez, por lo que es importante estimarlo. El índice de color de los cítricos (ICC) es uno de los principales parámetros utilizados en la industria cítrica para determinar cuándo se debe recolectar o qué tipo de tratamiento precisa la fruta (Jimenez-Cuesta *et al.*, 1981).

Habitualmente, en la industria se utilizan colorímetros, que son dispositivos electrónicos específicos que miden el color y lo expresan como coordenadas numéricas (Gardner, 2007). Estos dispositivos, manejables y muy precisos (Figura 1.a), tienen una pequeña zona de medida donde una luz es reflejada sobre la superficie del objeto y recibida en un sensor. Precisamente, uno de los principales problemas que tiene es su pequeña zona de medida, lo que hace que el valor medido no sea representativo en frutas con color poco homogéneo. Otro problema es la esfericidad de la fruta, que complica a menudo la medida. Y otra gran desventaja es el alto precio de estos dispositivos.

Para simplificar el cálculo del ICC, el Departamento de Poscosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) editó un conjunto de tarjetas con texturas de color para naranjas y mandarinas (Figura 1.b), que permite una comparación visual de la superficie de cítricos colocándola dentro de una ventana circular, y así estimar el valor del ICC de dicho fruto impreso en cada tarjeta (DOGV, 2006).



Figura 1. a) Colorímetro y b) tarjetas editadas por el IVIA

Sin embargo, una alternativa para estimar estos valores de una forma más exacta es por medio de técnicas de análisis de imágenes utilizando cámaras, que proporcionan datos más precisos y objetivos que los perceptuales propios del ser humano. De esta forma se puede analizar una mayor superficie o incluso el objeto entero, siendo un método más adecuado sobre todo para casos en los que la superficie de la fruta tiene un color heterogéneo (Cubero *et al.*, 2011; Lorente *et al.*, 2012). Para lograrlo, sería necesaria una cámara de color conectada a un ordenador personal que a partir de las imágenes adquiridas mostrara por la pantalla el resultado proporcionado por los algoritmos de análisis de las imágenes. Este sistema se muestra muy efectivo para estimar el ICC de la fruta ya recolectada y depositada en un almacén, pero imposibilitaría su uso en el campo para estimar el momento preciso de la recolección.

Por otra parte, los dispositivos móviles se utilizan cada vez más en la vida diaria. Hoy en día es poco habitual encontrar a alguien que no posea un dispositivo móvil inteligente. Algunos de estos dispositivos ofrecen una potencia similar a la de un ordenador personal pero en un espacio muy reducido y funcionando en modo portátil y autónomo. Además, dos de los principales avances que ofrecen es, por un lado la incorporación de sensores que permiten su utilización en multitud de circunstancias y por el otro la posibilidad de instalación de aplicaciones que a menudo hacen uso de estos sensores.

En otros trabajos se han utilizado dispositivos móviles para estimar parámetros de calidad de fruta, como por ejemplo la madurez del plátano en función de su color en condiciones de iluminación controladas (Intaravanne *et al.*, 2012) utilizando la cámara incorporada en un teléfono o Gómez-Robledo *et al.* (2013) que implementaron una aplicación para estimar el color del suelo implementando un modelo de color Munsell mediante un teléfono móvil. Estas aplicaciones utilizan el teléfono como un sistema de visión, pero funcionan en modo fuera de línea y con condiciones de iluminación controladas, es decir, almacenan los datos de la cámara en el dispositivo para su posterior procesamiento. La aplicación desarrollada en este trabajo, sin embargo, utiliza todo el potencial del móvil y lo utiliza como un sistema de visión real en línea, capturando imágenes en vivo y analizándolas a la vez para calcular y mostrar el ICC de los frutos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, en este trabajo se propone una alternativa que combina todas las ventajas mostradas y además añade una mayor comodidad, permitiendo la estimación del ICC en cualquier momento y lugar. La aplicación desarrollada, implementada para dispositivos que cuentan con sistema operativo Android, utiliza por un lado la potencia de computación del dispositivo móvil junto con el uso de su cámara, ofreciendo un sistema de visión en línea, permitiendo capturar imágenes en vivo y analizándolas en tiempo real para calcular y mostrar en su pantalla el ICC de los frutos.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo se han utilizado dispositivos Android, librerías gráficas de código abierto OpenCV, el kit de desarrollo de software (SDK) para Android y el entorno de programación Eclipse, utilizando el lenguaje Java. La razón para seleccionar Android como el sistema operativo se debe a su aplicación generalizada en la mayoría de los dispositivos móviles (Puder y Antebi, 2013) y que permite utilizar y programar código abierto utilizando una licencia libre.

La interfaz de la aplicación (Figura 2) muestra la zona de tarjetas y opciones (a la izquierda) y la zona de captura de imagen (a la derecha). A la izquierda se encuentra una muestra de la vista previa de las tarjetas con las texturas de colores aprobados y su valor prefijado del ICC (Figura 1.b) para poder visualizarlas en la zona de captura y realizar una comparación visual con la muestra a través del círculo de imagen ajustable en tamaño, del mismo modo que con las tarjetas reales. En la parte superior de la zona de captura se muestra el ICC estimado e información de otros espacios de color, concretamente RGB, XYZ, Lab y HSI. Resulta interesante la posibilidad de visualizar los valores en distintos espacios de color para poder comparar con los resultados obtenidos por cámaras o colorímetros.

El análisis de las imágenes se lleva a cabo únicamente en el área donde se visualiza la muestra, esto es, en el círculo de captura, independientemente de la superposición o no de texturas en pantalla. En este área circular se muestra la imagen en vivo y sobre ella toda la información acerca del ICC de todos los píxeles que pertenecen a este área. La información relacionada con otros espacios de color se muestra únicamente si se han seleccionado en el menú de *Preferencias*.

El proceso para obtener el ICC comienza con el cálculo del valor medio RGB de todos los píxeles del área de captura. Este valor se convierte al espacio de color XYZ usando las ecuaciones descritas por Mendoza *et al.* (2006), y finalmente los valores XYZ se convierten en los espacios de color HSI y HunterLab, usando las ecuaciones correspondientes al iluminante D65 y observador 10° descritas en HunterLab (2008). Una vez que se realiza esta conversión, el ICC se calcula utilizando la Ecuación (1), donde L, a, b son las coordenadas del espacio de color HunterLab.

$$ICC = \frac{1000*a}{L*b} \quad (1)$$

El ICC también podría obtenerse calculando los ICC correspondientes a cada píxel y posteriormente la media de todos ellos, pero esto tiene un coste computacional muy elevado y el resultado se demostró prácticamente el mismo (Vidal *et al.*, 2013; Cubero *et al.*, 2014).



Figura 2. Captura de la interfaz de la aplicación con una tarjeta seleccionada y una muestra

Por lo tanto, la aplicación se encuentra continuamente realizando capturas de imágenes de la cámara, y para cada una de ellas extrae la zona circular de interés donde está la muestra, calcula el valor RGB medio, lo convierte al espacio de color XYZ y posteriormente a Lab (y HSI solo si está seleccionado). Finalmente se calcula el valor

del ICC según la Ecuación (1) a partir de las coordenadas Lab y se muestran en pantalla los resultados.

Además, la aplicación permite guardar toda esta información en la memoria del dispositivo, capturando la pantalla con el resultado de la medición y/o las imágenes originales capturadas por la cámara, todas ellas en formato gráfico JPG. Para ello simplemente hay que tocar la zona de captura y la aplicación almacena las imágenes automáticamente.

Como se ha comentado anteriormente, existen multitud de dispositivos que tienen distinto hardware de adquisición y que cuentan con variadas configuraciones. En este trabajo se han utilizado cuatro dispositivos distintos, con características de hardware muy diferentes, para comprobar el funcionamiento de la aplicación. Concretamente se han utilizado los dispositivos que se muestran en la Tabla 1, todos ellos con versiones de Android 4 o superior.

Tabla 1. Dispositivos utilizados para probar la aplicación desarrollada

Dispositivo	<i>Móvil Samsung S-III</i>	<i>Móvil Samsung S-III mini</i>	<i>Tablet Samsung Tab-2</i>	<i>Tablet Ampe A78</i>
Cámara	8 MP	5 MP	3 MP	2 MP
Flash	LED	LED	NO	NO
Bloqueo Tpo. exposición	SI	NO	SI	NO
Bloqueo Balance de blancos	SI	NO	SI	NO

Por lo tanto, el objetivo principal del trabajo es determinar si el sistema puede utilizarse potencialmente para calcular el ICC ampliamente utilizado por los productores y comprobar la precisión alcanzada por esta aplicación móvil cuando se trabaja en condiciones de campo y con diferentes dispositivos móviles.

Para llevar a cabo el trabajo, se ha utilizado un colorímetro Minolta CR-300 similar al de la Figura 1.a, a modo de referencia para el cálculo del color y un sistema de iluminación integrado en una campana cerrada (Figura 3) compuesto por ocho tubos fluorescentes de 18 W (luz de día) alimentados por balastos electrónicos para evitar el efecto de parpadeo y los filtros de polarización cruzada entre la cámara y los tubos para evitar brillos sobre la superficie de los objetos, todo ello para comprobar el efecto de la iluminación en exteriores y en un ambiente de luz controlado.

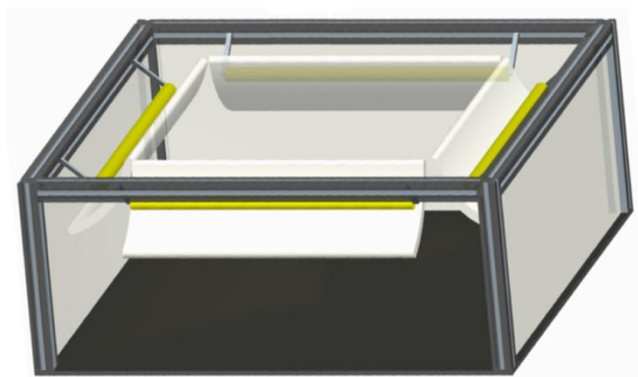


Figura 3. Campana con iluminación controlada

Respecto del material biológico, para la realización de los experimentos se han utilizado dos conjuntos de fruta. El primero consistió en un grupo de 55 naranjas de distintos cultivares recolectados en parcelas del IVIA, concretamente Navelate, Bonanza, Cram y Oronules, en diferentes etapas de madurez y que presentan variedad de color (Figura 4) con el fin de cubrir la mayor parte de las posibilidades que se pueden encontrar en el campo. Cada fruta se etiquetó en el propio árbol y se midió su color utilizando la aplicación desarrollada con los cuatro dispositivos móviles. Posteriormente se recolectó dicha fruta y se repitió la medición en condiciones de laboratorio, tanto con los dispositivos móviles como con el colorímetro. El segundo conjunto consistió en 60 naranjas de los mismos cultivares y en diferentes estados de madurez, de modo similar al conjunto anterior.

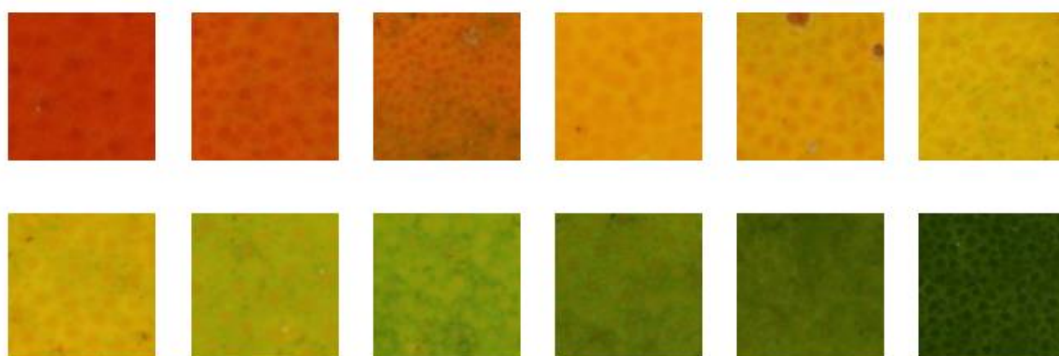


Figura 4. Muestras representativas del color de la fruta utilizada para los experimentos

En este trabajo se realizaron varios estudios con los siguientes objetivos principales y las pruebas para llevarlos a cabo:

1. Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles en condiciones de campo respecto del colorímetro: se midió el ICC para cada fruta en el árbol (fruta del primer conjunto) y se calculó utilizando los cuatro dispositivos móviles, con y sin flash. Se realizaron un total de cuatro mediciones del ICC con cada dispositivo. Estas mediciones se compararon con los obtenidos a partir del colorímetro en condiciones de laboratorio, donde se realizaron de la misma forma cuatro mediciones.
2. Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles en condiciones de iluminación controladas respecto del colorímetro: se midió el ICC para cada fruta recolectada (del primer conjunto) y se midió con los cuatro dispositivos móviles sin utilizar el flash y bajo iluminación controlada. La comparación se realizó del mismo modo que anteriormente con el colorímetro.

3. Determinar el comportamiento de los dispositivos móviles respecto de un grupo de expertos utilizando las tarjetas de texturas: se midió el ICC para cada fruta recolectada (del segundo conjunto), se midió con los cuatro dispositivos móviles sin utilizar el flash y bajo iluminación controlada, y se compararon los datos con los obtenidos por un panel de expertos que utilizaba las tradicionales tarjetas de texturas.

Ya que algunos de los dispositivos utilizados durante el estudio no permiten la posibilidad de bloquear los modos automáticos de balance de blancos y tiempos de exposición, se desactivaron estas características para todos los dispositivos.

Los valores de ICC calculados para cada fruta y mediante el uso de los diferentes dispositivos móviles se compararon con los obtenidos utilizando la referencia apropiada, como se ha comentado anteriormente. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando modelos de regresión múltiple (Montgomery, 2005) utilizando el software Statgraphics Centurion (StatPoint Technologies, USA).

Resultados y Discusión

Dispositivos móviles en condiciones de campo vs colorímetro

Una forma de evaluar la bondad del método propuesto cuando se trabaja con diferentes dispositivos y bajo diferentes condiciones consiste en comparar el valor del coeficiente de determinación R^2 de los modelos de Regresión Múltiple entre cada una de las cámaras de los dispositivos y el colorímetro. Este coeficiente indica o se refiere a la proporción de los valores del ICC que pueden ser predichos por el modelo. Esto se logra mediante el cálculo de diferentes modelos de regresión, utilizando los valores del ICC obtenidos con el colorímetro como variables dependientes y los valores del ICC estimados por las diferentes cámaras como variables independientes. Los valores de R^2 para las diferentes cámaras se muestran en la primera fila de la Tabla 2. Estos resultados muestran la capacidad que poseen las cámaras de los dispositivos para reproducir los valores del ICC obtenidos con el colorímetro, teniendo en cuenta que los valores del ICC del colorímetro se obtienen en condiciones de laboratorio y que sólo estiman el color de una zona muy pequeña (prácticamente un punto).

Dispositivos móviles en condiciones de laboratorio vs colorímetro

Utilizando el mismo conjunto de frutas y los mismos dispositivos que en el ensayo de campo, se repitió el proceso en laboratorio con condiciones de iluminación controladas para analizar en qué medida la luz ambiente es responsable de los anteriores valores de R^2 . La segunda fila de la Tabla 2 muestra los valores de R^2 entre cada una de las cámaras de los dispositivos y el colorímetro obtenidos en condiciones de laboratorio. En este caso, se obtienen valores de R^2 superiores a 0,81, lo que indica una clara relación entre los dos tipos de mediciones.

Tabla 2. R^2 para los diferentes dispositivos tanto en condiciones de campo como de laboratorio

<i>Dispositivo</i>	<i>Móvil Samsung S-III</i>	<i>Móvil Samsung S-III mini</i>	<i>Tablet Samsung Tab-2</i>	<i>Tablet Ampe A78</i>
<i>Cond. campo</i>	0,76	0,75	0,76	0,67
<i>Laboratorio</i>	0,85	0,87	0,90	0,81

Con el objetivo de comparar entre los distintos dispositivos, se ha realizado un Análisis de la Varianza (ANOVA) sobre los valores de R^2 , utilizando como factores el tipo de cámara y las condiciones de realización del ensayo. Ambos factores presentan diferencias estadísticamente significativas para un riesgo de tipo I (alfa) de 0,05. A partir de las correspondientes Diferencias Menos Significativas (LSD) se observa que para ambos factores podemos apreciar que el ensayo en condiciones de laboratorio proporciona valores más altos de R^2 que los obtenidos en condiciones de campo (Figura 5), que parece que está directamente relacionado con las condiciones de iluminación.

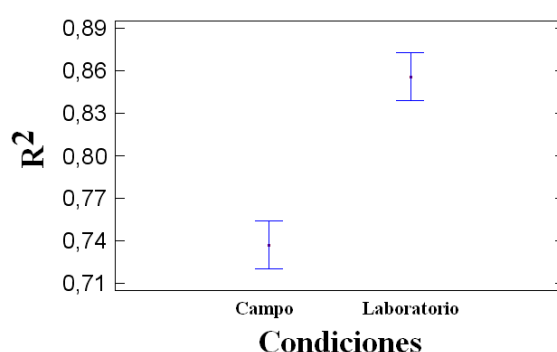


Figura 5. Gráfico LSD de valores de R^2 (eje y) en diferentes condiciones (eje x)

Dispositivos móviles en condiciones de laboratorio vs panel de expertos

Utilizando el otro conjunto de 60 frutas y los mismos dispositivos que en los ensayos anteriores, se repitió el proceso anterior con condiciones de iluminación controladas. Los resultados se compararon con los obtenidos por un panel formado por dos expertos en las mismas condiciones controladas.

En los modelos de regresión realizados, todos los dispositivos mostraron valores de R^2 por encima de 0,96, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. La Tabla 3 muestra los resultados para los modelos de regresión para las diferentes cámaras utilizadas. Además, no sólo los valores de R^2 son superiores a 0,96, la desviación estándar media es de 1,78, con valores que van desde -16 a 27. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores discretos de las tarjetas de texturas introducen una fuente adicional de variabilidad en los datos en relación con las discontinuidades en las predicciones. Es decir, las tarjetas de texturas dan valores discretos ya que los expertos clasifican la fruta en un grupo específico cuando el color de dicho fruto es cercano al color de una tarjeta de textura o a otro, por lo que el ICC es únicamente indicativo para realizar los tratamientos de desverdización correspondientes. Estos resultados validan la capacidad de la aplicación para proporcionar los valores del ICC de forma absolutamente fiable en un modo de funcionamiento normal.

Tabla 3. R^2 y desviación estándar resultado de la regresión múltiple proporcionados por los expertos y los diferentes dispositivos en las mismas condiciones de laboratorio

<i>Dispositivo</i>	<i>Móvil Samsung S-III</i>	<i>Móvil Samsung S-III mini</i>	<i>Tablet Samsung Tab-2</i>	<i>Tablet Ampe A78</i>
R^2	97,36	98,26	96,01	97,87
<i>Desv. Est.</i>	1,79	1,46	2,20	1,54

Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado y probado con éxito una aplicación que trabaja con las cámaras incorporadas en los dispositivos móviles y que funcionan como un sistema portátil de visión por computador que permite medir el ICC de forma automática, durante la cosecha o tras la recolección. Las principales ventajas que aporta son la portabilidad del sistema, la fácil accesibilidad a estos sistemas y su simplicidad de uso, permitiendo una estimación del color de los cítricos en el campo para ayudar en la toma de decisiones de cuándo recolectar y qué procesos de desverdizado aplicar.

Esta aplicación puede instalarse en cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android y no requiere apenas interacción del usuario ni precisa calibración previa. Se trata de una característica fundamental ya que ninguna aplicación desarrollada para dispositivos móviles ofrece un modo de funcionamiento on-line, sin entrenamiento del sistema, permitiendo así que cualquier usuario pueda utilizar fácilmente la aplicación.

Para comprobar el funcionamiento de la aplicación, se realizaron tres ensayos cuyo objetivo fue comparar los valores del ICC obtenidos por los dispositivos móviles bajo condiciones de campo y de laboratorio, y éstos últimos respecto de colorímetros y tarjetas de texturas utilizadas por expertos. En el primero se compararon los resultados obtenidos por la aplicación desarrollada tanto en condiciones de campo como de laboratorio, obteniendo unos valores de R^2 cercanos a 0,75. En el segundo, se compararon los valores de la aplicación en condiciones de laboratorio respecto del colorímetro, obteniendo valores R^2 entre 0,80 y 0,90, dependiendo de la calidad del dispositivo. El tercer ensayo consistió en comparar los valores obtenidos por la aplicación en condiciones de laboratorio respecto de los datos proporcionados por dos expertos utilizando las tarjetas de texturas, obteniendo valores de R^2 mayores a 0,96. Estos resultados se presentan prometedores y muestran la robustez de la aplicación, lo que demuestra la viabilidad de un sistema de visión por computador para dispositivos móviles para inspeccionar el color de los cítricos en línea en condiciones de campo para ayudar en la toma de decisiones de la cosecha, lo que presenta un gran avance en el sector agroalimentario.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03 con el apoyo de los fondos europeos FEDER, y la colaboración UPV-IVIA mediante el convenio de colaboración UPV-2013000005.

Bibliografía

- Campbell, B.L., Nelson, R.G., Ebel, C.E., Dozier, W.A., Adrian, J.L., Hockema, B.R., 2004. Fruit quality characteristics that affect consumer preferences for satsuma mandarins. *HortScience*, Vol. 39(7), 1664-1669.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4(4), 487-504.
- Cubero, S., Aleixos, N., Albert, F., Torregrosa, A., Ortiz, C., García-Navarrete, O., Blasco J., 2014 Optimised computer vision system for automatic pre-grading of citrus fruit in the field using a mobile platform. *Precision Agriculture*, Vol. 15(1), 80-94.
- DOGV, 2006. Diari Oficial de la Comunitat Valenciana, Vol. 5346, 30321-30328.
- Freeman, H., 1961. On the encoding of arbitrary geometric configurations. *IEEE Trans. Elect. Computers*, Vol. 10, 260-268.
- Gardner, J.L., 2007. Comparison of calibration methods for tristimulus colorimeters. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol. 112, 129-138.
- Gómez-Robledo, L., López-Ruiz, N., Melgosa, M., Palma, A.J., Capitán-Vallvey, L.F., Sánchez-Marañón, M., 2013. Using the mobile phone as Munsell soil-colour sensor: An experiment under controlled illumination conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 99, 200–208.
- HunterLab, 2008. Applications note, 8(9), disponible en: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203997085-Hunter-L-a-b-Color-Scale-an08-96a>. Accedido en Abril de 2015.
- Intaravanne, Y., Sumriddetchkajorn, S., Nukeaw, J., 2012. Ripeness Level Indication of Bananas with Visible and Fluorescent Spectral Images. *IEEE 978-1-4673-2025-2/12*.
- Jiménez-Cuesta, M.J., Cuquerella J., Martínez-Jávega, J.M., 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proc. of the International Society of Citriculture*, Vol. 2, 750-753.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5(4), 1121-1142.
- Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M., 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 41, 285-295.
- Montgomery, D.C., 2005. *Design and analysis of experiments*, 6th ed. Tempe: Wiley.
- Puder, A., Antebi, O., 2013. Cross-compiling Android applications to iOS and Windows Phone 7. , *Mobile Netw. Appl.*, Vol. 18, 3–21.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J.M., Cubero, S., Albert, F., Blasco, J., 2013. In-Line Estimation of the Standard Colour Index of Citrus Fruits Using a Computer Vision System Developed For a Mobile Platform. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 6, Issue12, pp. 3412-3419.

AP03 - Sistema de visión artificial embarcado en un vehículo agrícola para la inspección en tiempo real de fruta mientras se recolecta

Cubero, S.¹; Albert, F.²; López, S.¹; Ramos, P.^{3,4}; Blasco, J.¹; Aleixos, N.²

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera, Km 5, 46113 Moncada, Valencia, España. e-mail: {cubero_ser, lopez_sanala, blasco_josiva@gva.es} ² Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España. e-mail: {fraalgi1, naleixos@dig.upv.es} ³ Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, km 4 vía antigua Chinchina – Manizales, Colombia. e-mail: paula.ramos@cafedecolombia.com. ⁴ Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Carrera. 45 # 26-85, Bogotá D.C., Colombia. e-mail: paula.ramos@cafedecolombia.com

Resumen

Se ha diseñado un sistema de inspección de fruta en tiempo real basado en visión por computador optimizado para ser embarcado en un vehículo agrícola, que consta de una cámara, un sistema de iluminación basado en tecnología LED y un ordenador industrial. Todo el sistema está alimentado únicamente mediante paneles solares y se puede incorporar a un vehículo agrícola capaz de transportar la fruta a través de una zona de inspección. La alimentación de los LED en modo estroboscópico, la captura y análisis de las imágenes y la posterior separación de la fruta está sincronizada con el avance de la fruta mediante un codificador de pulsos incremental conectado al eje de la cinta transportadora. En este trabajo, el sistema se ha probado inspeccionando naranjas sobre una plataforma móvil de asistencia a la recolección de cítricos con capacidad para individualizar la fruta, transportarla haciéndola rotar mientras atraviesa la zona de inspección y separarla en categorías de calidad en función de su color, tamaño y defectos. Se ha diseñado un algoritmo de segmentación de imágenes para detectar los defectos más comunes de la piel de los cítricos, el tamaño y el color a partir de varias vistas de la fruta adquiridas mientras ésta avanza por la zona de inspección. Finalmente, el sistema de visión se comunica con el control de la máquina para separar la fruta por su salida correspondiente. Los resultados preliminares son prometedores y demuestran el potencial de estos sistemas para realizar una preselección de la fruta mientras se recolecta y detectar aquellas que no tienen calidad suficiente para su comercialización en fresco.

Palabras clave: Segmentación de imágenes, agricultura de precisión, plataforma de asistencia, recolección de cítricos.

Machine vision system integrated on an agricultural vehicle for the in-line real-time quality inspection of fruit at harvest

Abstract

A fruit inspection system based in real-time computer vision has been designed especially to be embarked on an agricultural vehicle, consisting of a camera, a lighting system based on LED technology and an industrial computer. The system is powered entirely by solar panels and can be incorporated into an agricultural vehicle capable of transporting fruit through an inspection chamber. The LEDs powered in strobe mode, the acquisition and analysis of the images, and the subsequent separation of the fruit are synchronized with the advance of the fruit by incremental encoder connected to the shaft of the conveyor belt. In this paper, the system was tested by inspecting oranges on a mobile platform to assist in the citrus harvesting, with capacity to individualise, transporting and separating the fruit into quality categories according to their colour, size and defects. An algorithm of image segmentation was developed to detect the most common skin blemishes of citrus fruits, the size and the colour from multiple views of the fruit acquired while it moves rotating through the inspection area. Finally, the vision system communicates with the control of the machine to separate the fruit by the outlets corresponding to their quality. Preliminary results are promising and demonstrate the potential of these systems to perform a presorting of the fruit while it is collected and detect those that do not achieve quality to be sent to the market.

Keywords: Image segmentation, precision agriculture, mobile platform, citrus harvesting.

Justificación

Una parte importante de los costes totales de la producción de frutas y hortalizas corresponden a la recolección, tarea que puede suponer entre el 30% y el 60% al realizarse principalmente de forma manual, lo que da una idea de la influencia que tiene sobre el precio final del producto (Ruiz-Altisent *et al.*, 2004). En el caso de los cítricos, la fruta se deposita en cajas que son transportadas por los propios recolectores hasta la zona donde se carga en camiones y se transporta a las centrales hortofrutícolas para su posterior tratamiento y comercialización. Esta forma de recolección genera grandes tiempos muertos, por lo que se considera ineficiente y costosa. Para mejorar esta situación y reducir los costes de producción, se están realizando estudios para mecanizar y automatizar las labores de recolección (Torregrosa *et al.*, 2009; Ortiz *et al.*, 2011; Shamshiri *et al.*, 2013; Torregrosa *et al.*, 2014).

En estos estudios, se han destacado como una alternativa viable las plataformas de asistencia a la recolección, máquinas autónomas que facilitan las operaciones de recolección a pie de árbol, evitando que los recolectores transporten la fruta hasta los camiones. Estas máquinas ofrecen, además, algunas ventajas adicionales, como por ejemplo, la posibilidad de inspeccionar el producto recién recolectado en el propio campo, ofreciendo la posibilidad de preseleccionar la fruta individualmente y separarla en lotes según tamaño, color o presencia de defectos en la piel. En el caso de los cítricos, aquellas frutas que no cumplen los estándares de calidad para consumo en fresco se podrían detectar y llevar directamente a la industria de transformación, con el consiguiente ahorro en tratamientos, almacenaje y transporte en que se incurre en la actualidad transportando y procesando esta fruta en los almacenes de confección junto con el resto de frutas de buena calidad. Otro caso donde puede ser importante hacer una preselección en el campo es el de la estimación del color al inicio de la campaña, cuando la fruta recolectada ha alcanzado su nivel óptimo de maduración pero no la coloración externa característica, por lo que se tiene que someter a tratamientos de desverdización cuya duración depende del color en el momento de la recolección.

La visión por computador es una tecnología utilizada ampliamente en la evaluación automática de la calidad de frutas y hortalizas en centrales hortofrutícolas (Cubero *et al.*, 2011, Lorente *et al.*, 2012), sin embargo, resulta complicado llevar esta tecnología al campo e incorporarla sobre un vehículo agrícola, donde el suministro eléctrico es limitado, las condiciones ambientales son desfavorables y cambiantes, existe suciedad y fuertes vibraciones provocadas por la mecánica del vehículo.

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de inspección de fruta basado en visión por computador en tiempo real y que se puede utilizar embarcado en un vehículo agrícola. Este sistema consta de una cámara, un eficiente sistema de iluminación basado en tecnología LED y un ordenador industrial. Todos los elementos del sistema se alimentan mediante paneles solares y se puede incorporar a un vehículo agrícola capaz de transportar la fruta a través de una zona de inspección.

Las principales limitaciones de un sistema de este tipo son la robustez para funcionar en condiciones de campo, tamaño reducido para facilitar su instalación y mantenimiento sobre una máquina agrícola, consumo energético mínimo ya que se trata de un vehículo

autónomo que funciona con baterías, y una alta velocidad de procesamiento capaz de inspeccionar toda la fruta mientras se recolecta.

Materiales y Métodos

Los sistemas de inspección de fruta basados en visión por computador utilizados en las centrales de confección tienen unas grandes dimensiones debido a que las cámaras suelen situarse en posición perpendicular a los carriles de transporte de fruta. Trasladar un sistema de este tipo a una máquina en campo supondría aumentar aproximadamente un metro la altura de la máquina, lo que provocaría problemas a la hora de transportar y almacenar la máquina, además de los propios de mantenimiento de una estructura de tanto volumen. Por ello, se ha tratado de reducir al máximo el tamaño del sistema de visión y hacerlo más ligero, cómodo en su mantenimiento y con la menor altura posible. Sin embargo, las estructuras deben ser robustas y permitir su montaje y desmontaje sin alterar los parámetros de configuración del sistema de visión.

Se ha desarrollado un nuevo diseño (Figura 1) que cumple con todos estos condicionantes basado en una estructura donde la cámara se encuentra en un plano paralelo al avance de la fruta, y entre ellos se sitúa un espejo a 45° sin alterar la escena a analizar. De esta forma, se consigue que todo el sistema de inspección tenga una altura total de solo 330 mm.

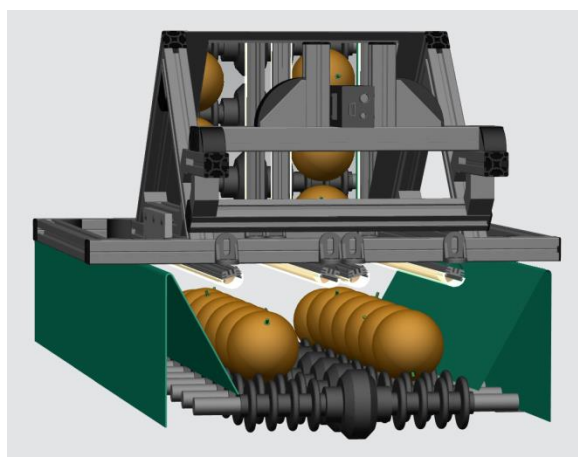


Figura 1. Diseño del sistema de visión sobre una línea de rodillos

Para adquirir las imágenes se ha seleccionado una cámara color Manta G-125C (Allied Vision Technologies GmbH, Alemania) que cuenta con un puerto de comunicaciones de alta velocidad Giga Ethernet y alimentación a través del propio cable de comunicaciones (PoE). Esta cámara permite adquirir hasta 30 imágenes color (RGB, rojo, verde, azul) por segundo con una resolución de 1296 x 966 píxeles, requerimientos suficientes para la aplicación. Se ha establecido un tiempo de exposición de 1/500 s para evitar que las imágenes aparezcan movidas ya que la fruta se desplaza a alta velocidad.

El sistema de iluminación está formado por tiras de diodos LED de alta luminosidad, de 600 mm de longitud con una separación de 1 cm entre cada uno de ellos. Las tiras de han dispuesto en sentido longitudinal al sistema de transporte de la fruta, colocando una tira a cada lado de la línea a inspeccionar para proporcionar una iluminación uniforme. Para evitar la presencia de brillos se ha utilizado polarización cruzada, colocando una lámina de filtro polarizador en el interior de las carcasas protectoras de los LED y otro en

la lente de la cámara. A pesar de que los LED son muy eficientes energéticamente, es necesario reducir su consumo dada la gran cantidad de LED necesarios. Para ello, se ha diseñado un sistema de encendido sincronizado con la adquisición de las imágenes de forma que únicamente permanecen encendidos durante el momento de la adquisición de cada imagen, ahorrando así hasta un 93% de energía y con una disipación de calor completamente nula, permitiendo la integración de los filtros polarizadores en el interior de las carcasas de protección de las tiras de LED.

Para procesar las imágenes se ha utilizado un ordenador industrial (Nuvo-3000E/DIO, Neosys Technology Inc., Taiwan) que incorpora un procesador Intel® i7 y 4 GB de memoria RAM. Estos dispositivos están diseñados para trabajar en condiciones adversas y ofrecen un alto grado de protección, permitiendo su aislamiento en una caja estanca gracias a su funcionamiento sin ventilación. Además, están especialmente diseñados para su utilización en vehículos, trabajando con voltajes entre 8 V y 25 V DC, lo que permite conectarlos directamente a la batería del vehículo.

Sin embargo, el objetivo es crear un sistema que se pueda incorporar a cualquier vehículo y por lo tanto es aconsejable obtener una independencia energética respecto del mismo. Para ello, se ha incluido una placa solar de 756 x 460 mm (SM 160-M, Solara GmbH, Alemania) sobre la cubierta del sistema de visión, una batería de 12 V y un controlador de carga que maneja tanto la entrada de energía a la batería como el consumo de todo el sistema, lo que permite que funcione de forma autónoma. Además, se ha utilizado un sistema de posicionamiento global (GPS) que permite georeferenciar la cosecha y crear mapas del estado del cultivo. El esquema de conexión completo se muestra en la Figura 2.

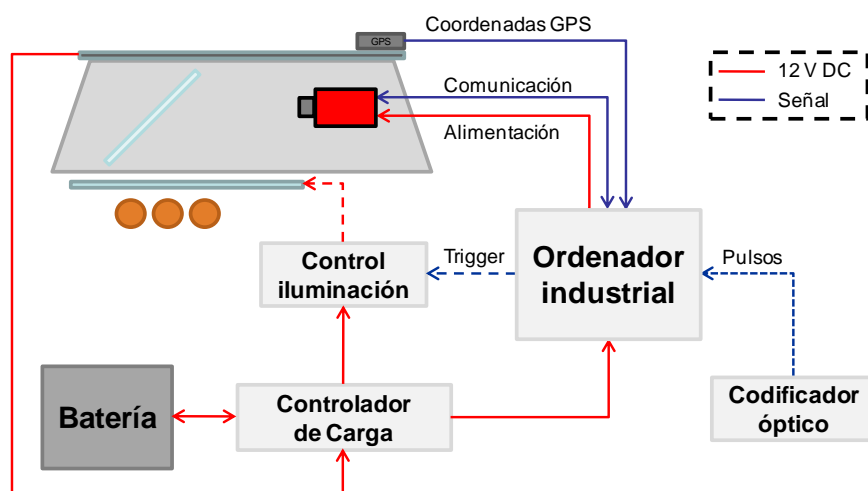


Figura 2. Esquema del sistema desarrollado

Cuando la fruta se está inspeccionando, el codificador óptico del vehículo envía pulsos eléctricos sincronizados con el avance de la fruta que se reciben en una entrada digital del ordenador. De modo similar, a través de una salida digital se realiza el disparo de la cámara y la iluminación (*trigger*). Se realiza la captura de una imagen a cada paso de rodillo, o sea, cada vez que una fruta completa entra en la escena, por lo que el disparo de la cámara se efectúa cuando se recibe la cantidad de pulsos correspondiente entre dos rodillos. Como en una escena hay cuatro frutas de cada línea, se garantiza la captura de cuatro vistas diferentes de la misma fruta, maximizando así la superficie de piel analizada.

Cada imagen recibida por el ordenador se segmenta clasificando los píxeles que pertenecen a la fruta y los que pertenecen al fondo de la imagen. Se ha utilizado para ello el ratio G/B entre el valor de verde y azul del valor RGB de cada píxel, de tal forma que aquellos píxeles cuyo valor está por encima de un umbral se consideran fruta y el resto fondo. Se ha establecido esta ratio debido a que los píxeles de la fruta presentan valores muy bajos en la componente azul y muy elevados en la verde en todos los estados de maduración, mientras que los píxeles de fondo presentan siempre valores muy bajos de ambos valores.

Una vez segmentada la imagen se realiza la búsqueda de cada fruta completa así como de las diferentes características (objetos) que puede presentar (pedúnculo, zonas de piel naranja o verde, defectos, etc), donde para cada una de las frutas y objetos encontrados se determinan parámetros como el perímetro, diámetros máximo y mínimo, área y centroide entre otros. Para implementar esta búsqueda de objetos se ha utilizado un método basado en código de cadena (Freeman, 1961), que busca los píxeles que pertenecen al contorno de cada objeto. Posteriormente, recorriendo esos píxeles del contorno se extraen el resto de parámetros.

El momento de recolección depende del estado de madurez de la fruta, sobre todo al inicio de la campaña, y el principal indicador que se utiliza es su color. Según sea este, la fruta se puede someter a un tratamiento de desverdización si no ha alcanzado un color comercial. La duración de estos tratamientos depende de su coloración, por lo que es importante estimarlo de forma objetiva. El índice de color de los cítricos (ICC) es el principal estándar en la industria citrícola española para determinar el color y, por tanto, cuándo se debe recolectar o qué tipo de tratamiento precisa la fruta (Jimenez-Cuesta *et al.*, 1981; DOGV, 2006).

Para estimar el ICC, se calcula el valor RGB promedio de todos los píxeles incluidos en el interior del contorno de una fruta. Posteriormente, se realiza la conversión del valor resultante al espacio de color Hunter Lab ya que originalmente el ICC se definió utilizando este espacio. En las pruebas realizadas se han utilizado unos LED con una temperatura de color de 6000 K, por lo que se han utilizado las ecuaciones para hacer la conversión correspondientes al iluminante D65 (6500 K) y al observador 10°, que se encuentran descritas en Hunter Lab (2008). Según la Ecuación (1), se puede calcular el ICC a partir de los valores de las componentes L, a y b del espacio de color Hunter Lab obtenidos tanto por colorímetros como por los algoritmos desarrollados (Vidal *et al.*, 2013).

$$ICC = \frac{1000*a}{L*b} \quad (1)$$

En la Figura 3 se muestra el aspecto visual de frutas con diferente coloración y sus valores aproximados de ICC, aunque en la realidad la coloración no es uniforme.

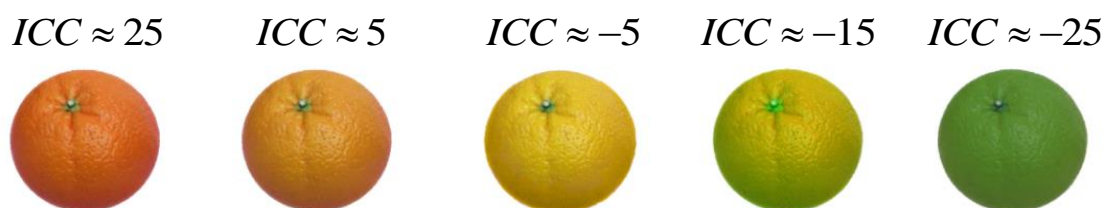


Figura 3. Aspecto visual del ICC de una naranja

Otro parámetro importante y que requiere algoritmos más complejos es la detección de defectos. Esta se ha realizado mediante la identificación del color de algunos píxeles como pertenecientes a zonas de defectos. Utilizando la aplicación Food-ColorInspector (<http://www.cofilab.com>) se realizó un entrenamiento previo basado en un clasificador bayesiano que permitió la creación de un mapa de color en el que se identifican los defectos superficiales más comunes en cítricos. Tanto los píxeles que corresponden a piel sana como a daños se clasifican en categorías. Los algoritmos de análisis de imágenes clasifican cada uno de los píxeles del interior del contorno de una fruta en una de las clases de defecto y posteriormente se calculan las áreas de los daños encontrados. Si una fruta presenta un daño con área superior a un determinado umbral se considera que esa fruta está dañada.

Cada fruta se inspecciona cuatro veces presentando diferentes vistas a la cámara, los valores de los parámetros totales corresponderán a los valores medios obtenidos en cada una de las imágenes. En el caso de los defectos, se considera una fruta como dañada si en al menos una vista se ha clasificado como dañada. Para saber en qué posición se encuentra la fruta en la imagen, se han utilizado las coordenadas X e Y del centroide de cada fruta. Según la orientación de la cámara, una de las coordenadas indicará la línea en la que se encuentra la fruta y la otra coordenada la vista de la fruta para poder seguirla en las siguientes imágenes y poder calcular el valor medio de los resultados individuales obtenidos.

Para probar el sistema, se utilizaron 150 naranjas de la variedad 'Navelate' recolectadas aleatoriamente en las parcelas del IVIA para ofrecer un conjunto representativo de muestras con diferentes tamaños y colores. Estas frutas se lavaron previamente, se numeraron y se les midió el diámetro ecuatorial con un calibre digital (Digit-CAL, Tesa, SA, Suiza). El color se midió utilizando un colorímetro (Minolta C400, Konica Minolta Opto, Inc. Japón) en cuatro zonas diferentes de la fruta, una próxima al pistilo, una próxima al pedúnculo y dos en la zona ecuatorial. Posteriormente, se calculó la media de todas estas medidas. Tanto los datos de calibre como los de color se utilizaron a modo de referencias respecto de los datos obtenidos por el sistema automático. La presencia de defectos o manchas en la superficie de la fruta la determinó un experto del IVIA.

El sistema de inspección desarrollado se probó sobre una máquina de asistencia a la recolección desarrollada por la empresa Argilés S.A. (Lleida) con la colaboración del centro de Agroingeniería del IVIA. Esta máquina cuenta con cintas transportadoras donde el recolector deposita la fruta a pie de árbol. Toda la fruta se eleva a la parte superior de la máquina y se individualiza en un sistema de transporte de fruta compuesto por dos líneas paralelas de rodillos y un sistema de clasificación en tres categorías, siendo una de ellas destrío. Esta máquina es capaz de procesar hasta ocho frutas por segundo, la velocidad máxima que permite el sistema de transporte de la máquina, capturando cuatro imágenes de cada fruta en distintas caras ya que los rodillos rotan a la vez que se trasladan. Esta máquina, mostrada en la Figura 4, se utiliza principalmente para cítricos aunque podría servir para cualquier otro fruto principalmente esférico.



Figura 4. Vista general de la plataforma móvil con el sistema de visión por computador en la parte superior

Resultados y Discusión

El resultado principal de este trabajo es el diseño y desarrollo de un sistema de visión por computador de reducidas dimensiones y energéticamente autónomo, capaz de inspeccionar fruta en tiempo real y en condiciones de campo durante la recolección. Este sistema permite realizar una preselección automática de la fruta mientras se transporta en un vehículo móvil.

Para la estimación del calibre, se clasificó la fruta en tres grupos a modo de tres diferentes categorías comerciales según el tamaño (menores de 65 mm, entre 65 y 80 mm, y mayores de 80 mm). Se realizó una regresión de un modelo lineal utilizando los valores calculados a partir del diámetro ecuatorial medio de la fruta (en mm) medido con un calibre digital y los diámetros estimados con los algoritmos de análisis de imagen (en píxeles y convertidos a mm). El coeficiente de determinación (R^2) para el modelo lineal (Figura 5) muestra un valor de 0,99, presentando coeficientes estadísticamente significativos (p -valor < 0,05) y un error estándar inferior a 1 mm.

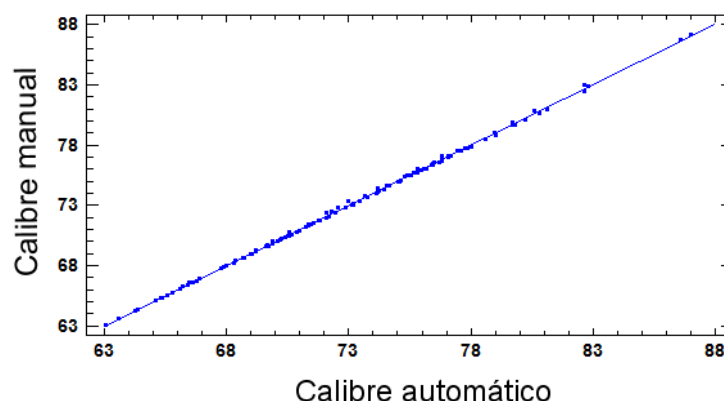


Figura 5. Ajuste al modelo lineal del calibre obtenido de forma manual respecto del automático

Todas las frutas se clasificaron correctamente en sus categorías comerciales de tamaño establecidas, según se observa en la matriz de confusión (Tabla 1).

Para la estimación del color, se ha correlacionado el ICC de la fruta obtenido por las medidas realizadas con el colorímetro respecto del estimado con los algoritmos de análisis de imagen. En este caso se ha obtenido una regresión cuadrática y un R^2 de

0,94 con coeficientes estadísticamente significativos ($p\text{-valor} < 0,05$). El haber obtenido un modelo cuadrático puede deberse a que la diferencia de color real entre diferentes valores de ICC no es uniforme. Los mayores cambios de color se producen para fruta verde ($ICC > 0$) y fruta naranja claro ($ICC < 7$). A partir de valores de ICC superiores a 7, la fruta presenta un color naranja más uniforme y las diferencias de color real entre frutas no son muy apreciables. En la Figura 6 se observa el ajuste al modelo lineal.

Tabla 1. Matriz de confusión de la clasificación automática de la fruta según el calibre

	<i>Categoría 1 (%)</i>	<i>Categoría 2 (%)</i>	<i>Categoría 3 (%)</i>
<i>Categoría 1 (calibre < 65)</i>	100,0	0,0	0,0
<i>Categoría 2 (calibre [65-80])</i>	0,0	100,0	0,0
<i>Categoría 3 (calibre > 80)</i>	0,0	0,0	100,0

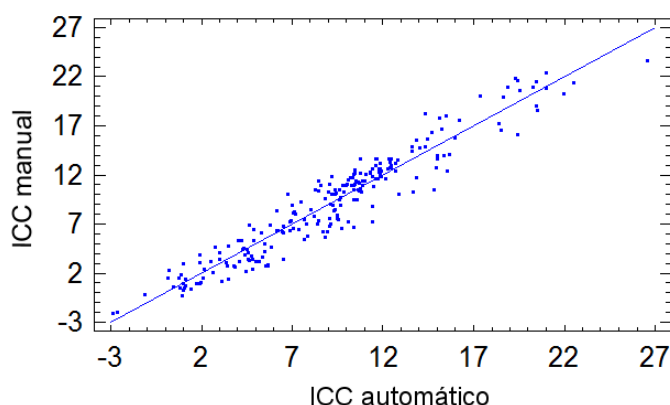


Figura 6. Ajuste al modelo lineal del cálculo del ICC con el colorímetro respecto del obtenido automáticamente

De un modo similar al anterior, se clasificó la fruta en tres categorías de color. En la matriz de confusión representada en la Tabla 2 se observan diferencias en la clasificación principalmente debidas a que los colores de la fruta no son uniformes y dependiendo de las zonas de medida, especialmente en el caso del colorímetro, los valores obtenidos pueden variar ligeramente la clasificación hacia una u otra categoría. De todos modos, en todos los casos se ha obtenido una clasificación superior al 84% de la fruta respecto de los valores tomados como referencia con el colorímetro.

Tabla 2. Matriz de confusión de la clasificación automática de la fruta según el ICC

	<i>Categoría 1 (%)</i>	<i>Categoría 2 (%)</i>	<i>Categoría 3 (%)</i>
<i>Categoría 1 ($ICC < 3$)</i>	84,0	16,0	0,0
<i>Categoría 2 ($3 < ICC < 7$)</i>	0,0	91,0	9,0
<i>Categoría 3 ($ICC > 7$)</i>	0,0	2,0	98,0

Para la clasificación de defectos, no se pudieron obtener valores definitivos debido a problemas de iluminación insuficiente para discriminar adecuadamente los colores de

los defectos. En unas pruebas preliminares realizadas en condiciones de laboratorio aunque con las imágenes capturadas por el sistema creado, se alcanzó una tasa de éxito de aproximadamente el 90% en la detección de los defectos. No obstante, es importante seguir trabajando en la mejora de estos algoritmos para hacerlos más precisos y eficientes.

Aunque la plataforma de recolección utilizada en los ensayos se ha creado principalmente para cítricos, podría servir para cualquier otro fruto esférico. El sistema de inspección a su vez podría adaptarse a cualquier otro tipo de fruta sea cual sea su forma y tamaño, y a cualquier vehículo que cuente con un sistema de individualización y transporte de fruta.

Las pruebas de autonomía realizadas demuestran que no hay problemas de suministro eléctrico después de una jornada completa de 8 horas funcionando a pleno rendimiento, independientemente de la climatología. En condiciones de sol la batería se mantiene por encima del 80% de carga, mientras que en días nublados la descarga de la batería ha sido mayor, aunque suficiente para funcionar durante la jornada completa sin llegar a descargarse completamente y trabajando de forma correcta. Evidentemente se podría conectar el sistema a la batería del vehículo en caso de necesidad, pero queda demostrado que el sistema funciona de forma completamente autónoma con la placa solar y la batería, lo que supone simplicidad de cableado e independencia casi total del vehículo. La estrategia de iluminación con encendido estroboscópico hizo posible este funcionamiento ya que se consiguió pasar de un consumo de aproximadamente 865 W/h a unos 25 W/h.

Este sistema de inspección es una evolución del descrito por Cubero *et al.*, (2014) que no permitía la detección de defectos en la fruta debido a la baja velocidad de procesamiento del equipo utilizado ni la alimentación autónoma con una placa solar y una batería, así como la inclusión de un módulo de posicionamiento que permita la generación de mapas de calidad de la fruta cosechada. En este trabajo, el sistema está preparado para detectar defectos aunque esta característica se encuentra en fase de mejora, al igual que el uso del GPS y la generación de mapas de calidad de la fruta, por lo que no se pueden presentar datos definitivos.

Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema de visión por computador con la capacidad de inspeccionar fruta en tiempo real durante la cosecha. Este sistema se puede situar sobre vehículos agrícolas de transporte de fruta y se alimenta de forma autónoma gracias a una placa solar y una batería, simplificando su instalación sobre los vehículos. Este sistema cuenta con características importantes como su reducido tamaño, robustez y eficiencia, gracias al uso de un espejo para reducir la altura total, un potente ordenador industrial y una iluminación con un consumo energético mínimo gracias al encendido estroboscópico implementado que reduce en un 93% la energía necesaria respecto de un funcionamiento en modo continuo.

Los algoritmos de análisis de imagen desarrollados permiten clasificar la fruta atendiendo a parámetros como tamaño, color y presencia de defectos, obteniendo resultados superiores al 90% de éxito en la clasificación en todos los casos, con un 94% en el caso del color y prácticamente un 100% en la estimación del tamaño.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03 con el apoyo de los fondos europeos FEDER, y la colaboración UPV-IVIA mediante el convenio de colaboración UPV-2013000005. Los autores agradecen a la empresa Argilés Diseny i Fabricació S.A. su colaboración.

Bibliografía

- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4(4), 487-504.
- Cubero, S., Aleixos, N., Albert, F., Torregrosa, A., Ortiz, C., García-Navarrete, O., Blasco J., 2014 Optimised computer vision system for automatic pre-grading of citrus fruit in the field using a mobile platform. *Precision Agriculture*, Vol. 15(1), 80-94.
- DOGV, 2006. Diari Oficial de la Comunitat Valenciana, Vol. 5346, 30321-30328.
- Freeman, H., 1961. On the encoding of arbitrary geometric configurations. *IEEE Trans. Elect. Computers*, Vol. 10, 260-268.
- HunterLab, 2008. Applications note, 8(9), disponible en: <https://support.hunterlab.com/hc/en-us/articles/203997085-Hunter-L-a-b-Color-Scale-an08-96a>. Accedido en Abril de 2015.
- Jiménez-Cuesta, M.J., Cuquerella J., Martínez-Jávega, J.M., 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proc. of the International Society of Citriculture*, Vol. 2, 750-753.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 5(4), 1121-1142.
- Ortiz, C., Blasco, J., Balasch, S., Torregrosa, A., 2011. Shock absorbing surfaces for collecting fruit during the mechanical harvesting of citrus. *Biosystems Engineering*, Vol. 110, 2-9.
- Ruiz-Altisent, M., Ortiz-Cañavate, J., Valero, C., 2004. Fruit and vegetables harvesting systems. In *Ramdane Dris and Shri Mohan Jain (Eds.), Production practices and quality assessment of food crops*, Vol. 1: Preharvest practice. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands, pp. 261-285.
- Shamshiri, R., Ehsani, R., Maja, J.M., Rok, F.M., 2013. Determining machine efficiency parameters for a citrus canopy shaker using yield monitor data. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 29, 33-41.
- Torregrosa, A., Gil, J., Ortiz, C., Ortí, E., Martín, B., 2009. Mechanical harvesting of oranges and mandarins in Spain. *Biosystems Engineering*, Vol. 104(1), 18-24.
- Torregrosa, A., Albert, F., Aleixos, N., Ortiz, C., Blasco, J., 2014. Analysis of the detachment of citrus fruits by vibration using artificial vision. *Biosystems Engineering*, Vol. 119, 1-12.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J.M., Cubero, S., Albert, F., Blasco, J., 2013. In-Line Estimation of the Standard Colour Index of Citrus Fruits Using a Computer Vision System Developed For a Mobile Platform. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 6, Issue12, pp. 3412-3419.

AP04 - Diseño de un Sistema SCADA Modulable y Escalable para el Control de Clima y Riego en Invernaderos

Mena, R.^{1,2}; Sánchez-Molina, J.A.^{1,2}, Rodríguez, F.^{1,2}, Guzmán, J.L.^{1,2}, Berenguel, M.^{1,2}

¹ Departamento de Informática, Universidad de Almería (España), ceiA3, CIESOL. Dirección: Ctra. de la playa, s/n. E-04120, La Cañada de San Urbano, Almería. Email de contacto: rafael.mena@ual.es, jorgesanchez@ual.es, frrodrig@ual.es, joguzman@ual.es, beren@ual.es

² Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3)

Resumen

Los dos objetivos principales de un SCADA son la supervisión y la adquisición de datos. Tradicionalmente, estos sistemas han venido sacrificando el desarrollo de algunas características como: (i) integración, el riego y el clima trabajan de forma independiente, (ii) comunicación, cada uno de los subsistemas funciona por separado, sin que exista comunicación entre ellos, y (iii) existencia de muchos parámetros, muchos de ellos muy difícil de entender para el usuario final, el agricultor. Para este trabajo, se ha implementado un sistema SCADA siguiendo las normas internacionales: ISA101-Human-Machine Interfaces, ISO 9241 and UNE-EN 29241. Para su desarrollo se ha utilizado Labview® de National Instrument (NI), software específico que incluye el diseño de la interfaz, de comunicaciones, la adquisición de datos y de gestión de la información. Sin embargo, en la implementación de algoritmos de control se ha elegido el software matemático Matlab debido a las grandes posibilidades que ofrece y a su integración en interfaces Labview. El sistema instalado en un invernadero tradicional cuenta con tres Compact FieldPoints de NI, y un CompactRio conectados por medio de industrial Ethernet a un router wifi. El sistema SCADA desarrollado se encuentra instalado en un ordenador personal conectado de forma inalámbrica con el router, con acceso remoto a través de VPN (Virtual Private Network). El resultado final es un SCADA abierto con una amplia variedad de posibilidades de configuración que permite la incorporación rápida y sencilla de nuevos sistemas. Además, integra el sistema de clima y de riego en una sola aplicación, también permite la el desarrollo de controladores híbridos, el origen modular y las opciones de configuración hacen fácil mejorar e introducir nuevas instalaciones o sensores y la disponibilidad de diferentes tipos de ensayos, riego e integración del clima, y gráficos de supervisión lo convierten en buena herramienta para productores, ingenieros o investigadores.

Palabras clave: Labview, Matlab, Fieldpoint, CompactRio, Híbrido, Integración.

Greenhouse modular and scalable SCADA Design for Clima and Irrigation Control

Abstract

The main objectives of the SCADA are supervisory analysis, control algorithms validation, and data acquisition. Traditionally, the greenhouse SCADA systems lack in: (i) System integration, irrigation and climate control working separately, (ii) subsystems communication, each subsystem has an independent control algorithm that does not have any information about how the rest are working, and (iii) many parameters, being many of them very difficult to understand for the final user, growers. A SCADA systems have been implemented according to the international standards: ISA101-Human-Machine Interfaces, ISO 9241 and UNE-EN 29241. To develop it, LabVIEW® of National Instruments was used. This software allows to provide a friendly interface, to perform communications, data acquisition and the information management. However, for the implementation of control algorithms the software MATLAB was used, due to its mathematical capabilities and its integration in LabVIEW interfaces. This system is connected with three Compact FieldPoint, and one CompactRio in order to collect data, which are connected by means of industrial Ethernet to a wireless Router. The SCADA was installed in a personal computer with wireless connection with the greenhouse's Router and a remote connection through VPN (Virtual Private Network) was setting up. The final results is an open SCADA with a wide possibilities of

configurations and allowing the upgrading of new systems in a fast and easy way. This system highlights the integration of climate and irrigation and for the use of hybrid control, modular origin and different configuration options making easy to improve and introduce new facilities or sensors and the availability of different assays to be performed, irrigation and climate system integration, data supervisory graphs that make it a good tool for growers, engineers or researchers.

Keywords: Hybrid, Labview, Matlab, Fieldpoint, CompactRio, Integration

Introduction

Almería's horticulture is probably the most recently developed specialization in agriculture. Greenhouses were improved as a result of technological advance and the rise in demand for exotic and out-of-season products (Ramirez-Arias et al., 2012). This agrosystem is a complex of physical, chemical, and biological processes, taking place simultaneously, reacting with different response times and patterns to environmental factors, and characterized by many interactions, which must be controlled to obtain the best results for the grower (Ramirez-Arias et al., 2012; Bakker, 1995). These modern agricultural systems are also characterized by the intensive and optimal use of land and water, turning agricultural exploitation into a semi-industrial concept (Lambers et al., 2008; Boulard & Wang, 2000; Rodriguez et al., 2015, Sanchez-Molina et al., 2015).

In this work, crop growth automation is carried out by the hierarchical architecture in Fig. 1 (Ramirez-Arias et al., 2012), showing the subsystems, processes and the variables in their relationships with the crops: the inputs are the actuators (windows, irrigation valves, heating, etc.), the disturbances are variables that cannot be manipulated, but can be measured so their effect on the system is taken into account (e.g., external weather, pests and diseases) and the outputs are the variables to be controlled (interior temperature, relative humidity, water, nutrients and so forth). Integration of the greenhouse system elements from a combined perspective is an important challenge because of the potential of not only knowing the interactions among the various elements that intervene in crop growth, but the possibility of controlling them. In this architecture, supervision and control are carried out by the grower (Rodriguez et al., 2015). The information necessary for decision-making comes from a diversity of sources, such as common knowledge, books and specialized publications, and the experience of the persons who work in the specific field. The availability of this information would help optimize crop growth (production), lower costs and assist in decision-making at the right time.

With respect to the lower layer of the proposed architecture, which corresponds to climate and fertigation controllers, there are many commercial systems widely installed in greenhouse facilities. These systems use classical controllers whose parameters are modified using heuristics based on the farmer and technicians experience. Furthermore, in many cases it is necessary to define hundreds of parameters related to the trajectories of climate and the actuators. The main problems identified in these systems are (Rodríguez et al., 2015):

- The setpoints tracking is not perfect, because of the system dynamic and the interactions between the control loops and constraints on control devices.
- The number of setpoints and controller parameters to set up these systems is so large that the system is not transparent and, therefore, the effects on energy efficiency or performance are not easy to discern.

- Most commercial systems are not open (their control algorithms are not modifiable), neither are they interoperable with third-party systems. They do not allow integration with the supervisory system of a hierarchically higher level, although from the authors' point of view, they must evolve following the process industry standards.
- Systems are installed in different conditions, even different countries where they were developed. It requires a process of adaptation and calibration of their different operating parameters to achieve acceptable results.

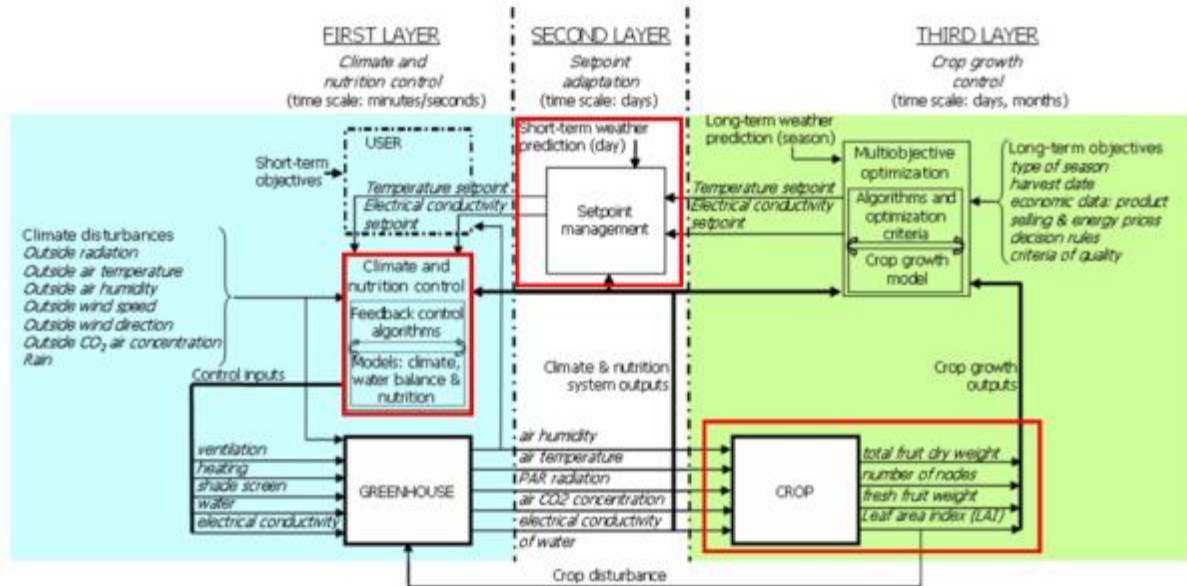


Figure 1. Hierarchical architecture

The main purpose of this study consisted of developing a Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA) for greenhouse agricultural production applied on two layers: (1) Supervision, and (2) control. The SCADA was evaluated in the greenhouse at the Cajamar Foundation Experimental Station (in the south of Spain), where the control system was tested by simulating appearance of the disease and observing real system response.

Material and Methods

The data used in this research was acquired from the Cajamar Foundation Experimental Station greenhouses in El Ejido, Almería Province, Spain (2° 43'W, 36° 48'N, and 151 m). The crops grow in a multispan Parral-type greenhouse (Fig. 2a). The greenhouse is 877 m² (37.8 x 23.2 m) with a variable height (between 2.8 and 4.4m), having a polyethylene cover. The structure of the greenhouse is symmetric in area and the roof runs from East to West, and crop rows are aligned north-south. Respect to the actuators, the greenhouse counts with automated ventilation with windows in the north and south walls (Fig. 2b), and roof window in each span (Fig. 2c), 20 x 10 threads x cm⁻¹ mesh bionet anti-insect screen, an heating system with an aerothermal generator of 95 kW, and a dehumidation system by condensation and a capacity of releasing 980 l h⁻¹ of condensed water. Growing conditions and crop management are very similar to those in commercial greenhouses.

Furthermore, a biomass-based system system has been installed (Sanchez-Molina et al., 2014), which consists of a greenhouse residue heating system to control the nocturnal temperature at low cost, and a CO₂ storage system, where CO₂ generated from the heater is stored for use during the diurnal photosynthesis process. The energetic and economic efficiency is improved by reusing greenhouse organic material (biomass) and CO₂ generated from the heating system. The main heating system has the following elements: a biomass boiler (Fig. 3a), a mixing valve (Fig. 3c), a pump (Fig. 3c), two water temperature sensors (Fig. 3c), and an aerial pipes (Fig. 3d). The heating circuit consists of a main supply pipe, a main return pipe and distribution pipes along the crop lines formed by two polyethylene parallel pipes. A calefaction pump and a continuous mixing valve is used to control the pipe temperature. A Pt100 temperature sensor was installed in each pipe, main and return. The distribution loop runs around the canopy lines placed 10 cm above the ground.

In the storage and enrichment CO₂ subsystem, the boiler (Fig. 3a) operates in accordance with the greenhouse heating demand, normally at night. The flue gases generated are driven to storage by the action of a compressor (Fig. 3a). The system is responsible for CO₂ retention from the flue gas, releasing the rest into the atmosphere. CO₂ subtraction allows a reduction in the volume of gas stored. The CO₂ capture is performed using an activated carbon (AC) adsorption bed (Fig. 3b). During the day, the CO₂ is released into the greenhouse with the aim to increase production, increasing photosynthesis by carbonic enrichment. For it, the system counts with: a compressor, heat exchangers, an AC storage tank (Fig. 3b), a proportional valve, sensors (pressure, air pipe temperature, CO₂ and flow), distribution pipes (Fig. 3d), and a three-way valve.

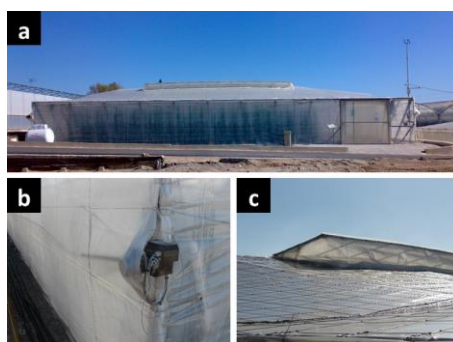


Figure 2. Greenhouse



Figure 3. Biomass-based heating subsystem with storage and enrichment CO₂ subsystem

Sensor network

The diurnal and nocturnal temperature, humidity, and CO₂ of this greenhouse were controlled. During the crop season, several internal and external measurements were monitored continuously. Outside the greenhouse, a weather station measured air temperature and relative humidity with a ventilated sensor (Vaisala HMP45P), solar radiation (Delta-Ohm LP PYRA 03), photosynthetic active radiation with a silicon sensor (PAR, Kipp&Zonnen PAR Lite), rain detector, CO₂ concentration (Vaisala GMP222), wind direction (Met One 020C-L), and speed (DeltaT AN3). The cover temperature (Thermopars T type) sensors were located on the east (two sensors), and west (two sensors) sides. During the experiments, the indoor climate variables were also taken, especially air temperature, and relative humidity (Vaisala HMP45P), solar radiation with a pyranometer (Delta-Ohm LP PYRA 03), photosynthetic active radiation (PAR, Kipp&Zonnen PAR Lite), soil temperature (Decagon Devices RT-01), and CO₂ concentration (Vaisala GMP222). A microlysimeter is the system chosen to provide the irrigation, drainage and crop water loss measurements. The device consists of two electronic weighing scales connected to a personal computer. The first (150 kg 1 g, Sartorius) records the weight of a bag with six plants, and a support structure. The second weighing scale (20 kg 0.5 g, Sartorius), which follows the first, measures the weight of the drainage from the substrate bag. Substrate water content was taken with two ECH2O-EC-5 sensors (Decagon Devices). The air temperature and humidity are controlled by ventilation and two different heating systems. Dehumidification system is used to control the humidity, and the CO₂ stored by the biomass system is used to increase the carbonic enrichment. Irrigation was periodically applied throughout each day of each crop. Irrigation frequency was controlled with a demand tray system. All the actuators are driven by relays designed for this task. 30-seconds climate data were recorded with a personal computer.

SCADA system design specifications

SCADA regulations

In general, SCADA system has been implemented according to the international standards: UNE-EN ISO 9241 (A), ISA101-Human-Machine Interfaces (B), ISA S5 (C), and The Royal Decree 488/1997 (D). (A) The standard UNE-EN ISO 9241, in its section 10, principles of dialogue, is about the ergonomic design of computers' programs with data visualization screens. Also, lists a series of ideas that is intended to serve as a guide when it comes to the planning and design of graphical interfaces, developed in chapters 14, 15, 16 and 17 of the standard. It pursues normalization is to get some applications with an easy-to-use graphical interface. (B) A reflection of the effort carried out by standardizing the procedures of design is the 101 ISA (Human Machine Interfaces for Process Automation Systems). Standard that provides a direction in the design, implementation and maintenance of HMI interfaces. Its main objectives are to reduce the rate of errors of the operators, reducing learning times and reduce costs of redesign to standardize procedures. (C) The purpose of ISA S5 standard is to establish a medium uniform designation of instruments and instrumentation systems used for measurement and control. To this end, the designation system includes symbols and presents an identification code. (D) The Royal Decree 488/1997, of 14 April, establishes the minimum requirements of safety and health relating to work with computers that include display

screens. Article 2 defines the terms "Display", "job" and "Worker". The obligations of the business owner in general terms, health monitoring and information and training are described in subsequent articles. The Royal Decree entrusted specifically drawing and updated maintenance of a technical guide for the risks assessment and prevention related to the use of equipment that include display screens. This provides criteria and recommendations which can facilitate owner and prevention responsible for the interpretation and application of the aforementioned Royal Decree, especially in what refers to the assessment of the risks to the health of the workers involved and with regard to the preventive measures.

SCADA technical specifications

The development of the project must be in accordance with the requirements imposed on plant and must be resolved around them:

- So the Automatic Control, Robotics and Mechatronic research group has LabVIEW® and Matlab® licenses. Furthermore, both software are commonly used for SCADA design (Labview®) and control algorithms simulation (Matlab/simulink®), and LabVIEW have implemented the possibility of including a Matlab® script.
- The data registry should be done in txt files, because they are compatibles with all of the data mining programs.
- It is advisable to have the possibility of access to the monitoring system from remote systems.
- It is very recommendable the use of new renewable systems together to old non-renewable previously installed but abandoned in high-tech greenhouses. Old facilities could be used when the new one cannot reach, for example, the air temperature through heating. Both could work as hybrid system.
- Open and flexible architecture that allows combinations with standard applications and users.
- SCADA should be an easy to install and to use, it should have no excessive demands for hardware.
- The tool must have full management and visualization functionality in Windows environment on any standard PC operating system.
- Representation of historic data and alarms (This last is not currently implemented).
- Backup of the variables name and order in a separated txt file from the variables data.
- The SCADA must be available for research proposes.

SCADA general specifications

It should be implemented a SCADA system to respond to some needs:

- Supervision of climate and irrigation processes more complete which offer existing systems.
- Easy SCADA handling, the screens will be developed with a logical and clear distribution of elements.

- It is necessary to take into account different views and levels of access, which will depend on the "user login". Ideally it should be a set of roles.
- A tool that draw up periodic reports from data collected in the database must be integrated.
- The design of a general synoptic, in which it is possible the visualization of all the greenhouse facilities and of most important variables with a simple view.
- To avoid menus abuse and excess of hierarchical levels in the architecture of design that make slow navigation and with too many steps and access to switch between different views.
- Configuration screens that allow complete from the terminal control where all the main parameters adjustment of the facilities with the possibility to modify its value in an easy way.
- The visualization of the different greenhouse facilities must represent the best possible equipment and its operation.
- It must have a manual control and an automatic operation screens.

SCADA and system network, interface design and tools

To develop it, LabVIEW® of National Instruments was used. It is a specific purpose software for this kind of applications, since it allows to provide an interface, to perform communications and information management. However, MATLAB® software was used for the implementation of control algorithms due to its great versatility, easy implementation, and its integration in LabVIEW® interfaces. The greenhouse counts with three Compact FieldPoint®, and one CompactRio® (Fig. 3) in order to collect data from the installation, which are connected by means of industrial Ethernet to a Router WIFI (Fig. 4). The SCADA system developed with LabVIEW® is installed in a personal computer that counts with a wireless connection with the Router.

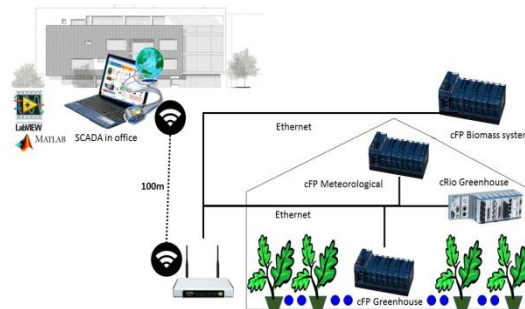


Figure 4. SCADA and system network

Finally, to access the acquired data from outside of the Cajamar Foundation, a connection through VPN (Virtual Private Network) was setting up. This supervisory system allows to perform both the basic operations of the system and the analysis and implementations of any experimental test carried out in the greenhouse. The final results is an open SCADA with a wide possibilities of configurations and integrations of new systems. Also, it was setting up with Matlab/Simulink® scripts support with the aim to use all the advantages that this mathematical software has when it is used in simulation and control.

Results and Discussion

SCADA system designed

This SCADA system (Fig. 5) is used for supervisory analysis of the system and the validation control algorithms, and the deviation analysis between the real and the simulated behavior of the greenhouse, derived from the assumed hypothesis in its disturbances and uncertainties. The characteristics of this SCADA system are:

- Data acquisition system: Data are sampled in daily '.txt' files, and the different variables are separated in columns by tabulation, which is compatible with all of data mining software. The new data added when a new facility is installed remain after the last columns, in such way that the rest of the variables keep the preset order.
- Sampling time setting up: The presence of different system could require different sample time due to the different time constant of each.
- The system allows three types of users: Researcher (administrator), supervisor and viewer. The researcher/administrator has full access to modify the SCADA. Supervisor can change the main configurations parameter and to use the manual control, but they cannot program control algorithms directly in the SCADA. The basic access is only for viewers, they cannot modify anything.
- Data supervisory graphs for the analysis of control strategies: That graphs can be configured to show the variables elected, and a determined period, in that way can be analyzed the system behavior and compared with other variables or periods.
- Irrigation and climate systems integration, which allows to have available the use the climate or irrigation variables for decision making.
- Hybrid control allowance: the communication among systems is very important in control, and in classical SCADAs is not implemented as options.

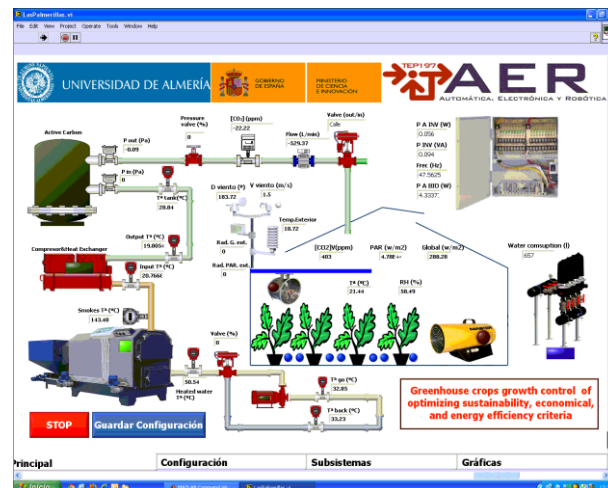


Figure 5. SCADA: Main screen

- Set up of the signal of different sensors and conversion of each sensor to a Matlab® variable to be share in all the systems (Fig. 6): All the variables are name with a Matlab® which are included in a data cluster and shared by all the control algorithms and finally saved in a '.txt' file separated from the data to be able the recognition of the different data variables.

- All the control algorithms are implemented in Matlab/Simulink® environment, which makes the assay of new controllers an easy task (Fig. 7b). For the user is easy the introduction of new functionalities to the controllers or modifications.
- Configuration of different kind of essays: Steps and Pseudo-Random Binary Signals (PRBS), to study the different systems dynamics.
- Allows to configure startup variables that need to be running at the start (Fig. 7a): Some controller can have the necessity of starting some variables only once per executions, to initialize some functions. The SCADA has a 'Start-up' tab in which all that functions can be configure in a Matlab/Simulink® environment.

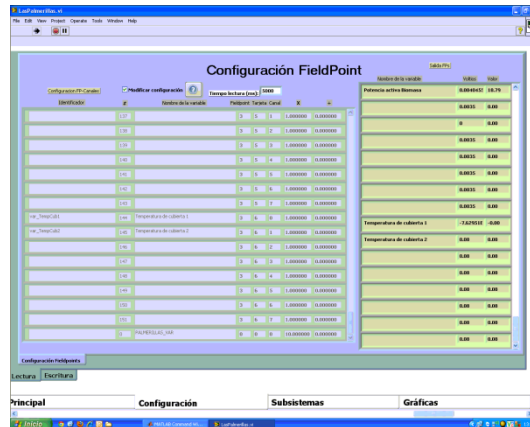


Figure 6. SCADA: Variables configuration

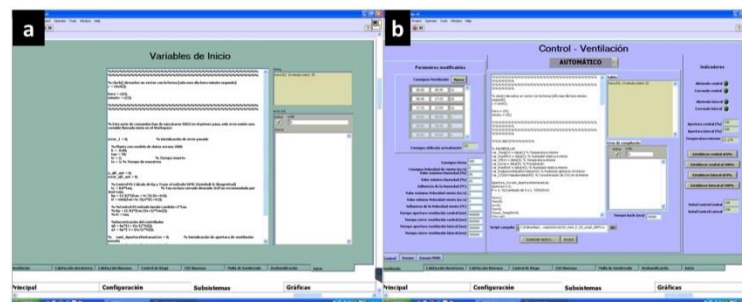


Figure 7. Storage and enrichment CO₂ subsystem.

- Easy a fast installation of new modules or sensors in the system: This is one of the goals, greenhouse are in a constant renewal in which the inclusion of new system or sensors is usual. For it, it is necessary that this operation is the easiest possible. This system is prepared for the incorporation of new facilities, new data acquisition system or new sensors. The new facilities add-on for SCADA are programed in a new Vis for LabVIEW® in which are incorporated all the main variables and parameters that are used. Once finished, the Vis is added into the main VI, which introduce all the variables in a general variable cluster to be used for the rest of the systems
- Integration of different data acquisition systems like Compact fielpoints and CompactRio from National Instrument: It is one of the point of LabVIEW®, using the drivers and the MAX configuration program, it is possible to create an acquisition device net and to use all the modules installed in them.

After presenting the system the plant researcher, supervisor and operators that interact with it day by day, has been obtained feedback about the interface of various kinds.

Although tried to follow the specifications and recommendations issued by those same people during development, found several points of improvement and aspects that should be made clearer for maximum comfort in the management of the screens. The details which, from the point of view of the plant supervisor, should be modified are:

- The main screen must be change to have the possibility to a manual control from it.
- Instead of assays for each system, it should be implemented in a friendly interface.
- The operators should have access to the manual control.
- The Matlab® m-files with the control algorithms should be upload directly from the file and the modifications realized directly in the SCADA might be save in it.

Likewise, the SCADA has also obtained a positive evaluation of many aspects of the new interface by a person of an each kind of user: A researcher, a supervisor and a basic user or operator. They has evaluated positively the appearance in general terms. In addition, it is qualified very intuitive and easy to understand in general, because in the early days of its use there have been no major problems working with it. The SCADA responds well to the conditions of greenhouse use and the size of all controls is suitable. As example, in the Fig. 8 and 9 are showed some results of controllers carried out for researchers during the test.

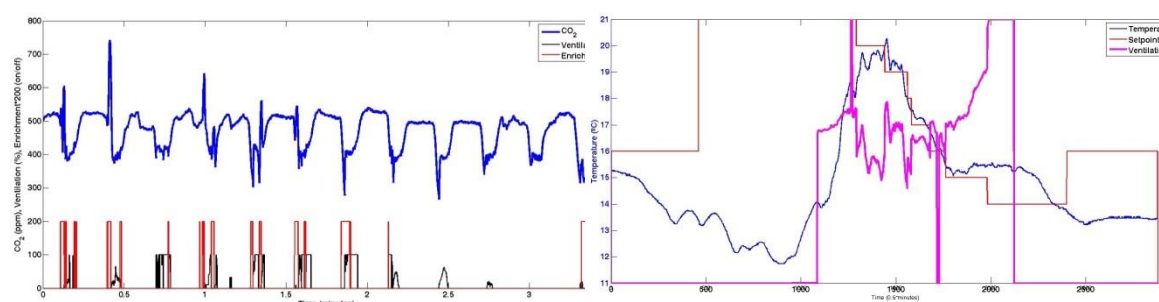


Figure 8. CO2 enrichment essays with a PI controller

Figure 9. Ventilation essays with a Robust controller

Additionally, although it is not a common practice in SCADAs developed for agriculture, an evaluation of the interface following the GEDIS Guide (Ponsa et al., 2009) has been made to each one of the users (researcher, supervisor and viewer). All of them, which have been aware of the entire project, were trained in the use of the interface, and consented completing GEDIS table, where aspects related to the design of the interface are qualified. 10 indicators that are evaluated from 1 to 5 are. The results provide clear points of improvement for the design: Researcher gave a 4.3 as final qualification, supervisor a 4.5 and the viewer a 4.6, which means a high conformity with the final results.

Conclusions

This paper develops a greenhouse management system with integration of different approaches and sub-systems for climate and irrigation monitoring and control in greenhouse in a smart grid context. The integration of several sensors connected to a SCADA system (Supervisory Control And Data Acquisition), that supervises a network of

Fieldpoints® and CompactRio® of National Instrument, which allow to the SCADA system/NI network different types of information coming from the several technologies present in the greenhouse system. In order to implement advanced controllers, a communication channel was developed through MATLAB scripts to allow the communication between the SCADA system and the MATLAB software. The developed control strategy implements a hierarchical cascade controller where inner loops are performed by local NI devices, and the outer loop is managed by a centralized SCADA system, which interacts with the entire local network.

The major contribution of the present study is the development of a complete new platform connecting the SCADA supervisory system, the MATLAB software, and the possibility of using hybrid system. All of them in a platform in which the modular origin and the configuration options make it easy to improve and introduce new facilities or sensors. The availability of different assays to be performed, irrigation and climate system integration, data supervisory graphs or sampling time setting up are simple examples of characteristics that make this SCADA a good tool for growers, engineers or researchers.

Furthermore, this SCADA is thought for integration, so climate and irrigation can be joint in an interface sharing information, other systems can do it. Furthermore, it is a common case in the Almeria's high-tech greenhouses that growers are incorporating new technologies as heating based in renewable energies, CO₂ enrichment, etc. When these new systems are added, the old facilities, normally based in non-renewable sources, keep in the greenhouse unused. Hybrid control can help to use this old devices when the renewable energies cannot be used or to reduce the size (price) of them.

Acknowledgements

This research has been funded by the Controlcrop Project, P10-TEP-6174, project framework, supported by the Andalusian Ministry of Economy, Innovation and Science (Andalusia, Spain), and by the Spanish Ministry of Science and Innovation and EUERDF funds under grant DPI2011-27818-C02-01.

Bibliography

- Bakker J (1995) Greenhouse climate control: An integrated approach. Wageningen Academic Pub, 279pp.
- Boulard T, Wang S (2000) Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. *Agricultural and forest meteorology* 100: 25-34.
- Gruber JK, Guzmán JL, Rodríguez F, Bordons C, Berenguel M, Sánchez JA (2011) Nonlinear mpc based on a Volterra series model for greenhouse temperature control using natural ventilation. *Control Eng Pract* 19(4): 354-366
- Lambers H, Pons TL (2008) Managing botrytis cinerea on tomatoes in greenhouses in the mediterranean. *Plant Physiological Ecology*. Springer, New York, NY, USA, p. 610pp.
- Medrano E, Lorenzo P, Sánchez-Guerrero MC, Montero JI (2005) Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Sci Horticul*: 105, 163-175.
- Ponsa P, Amante B, Díaz M, (2009) Evaluación de la Usabilidad para la Tarea de Supervisión Humana en Sala de Control Industrial. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*: 6(1), 84-93

- Ramírez-Arias A, Rodríguez F, Guzmán J.L, Berenguel M (2012) Multiobjective hierarchical control architecture for greenhouse crop growth. *Automatica* 48(3): 490-498
- Rodríguez F, Berenguel M, Guzmán JL, Ramírez-Arias A (2015) Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth. Springer International Publishing Switzerland.
- Sánchez-Molina JA, Rodríguez F, Guzmán JL, Ramírez-Arias JA (2015) Water content virtual sensor for tomatoes in coconut coir substrate for irrigation control design, *Agr Water Manage*:151, 114-125
- Sánchez-Molina JA, Reinoso JV, Acién FG, Rodríguez F, López JC (2014) Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses. *Biomass Bioenerg* 67: 60-71.

AP05 - Sensor óptico para determinar distancia entre plantas para aplicaciones de precisión

Pérez-Ruiz, M.¹, Garrido, M.², Martínez, J.¹, Agüera, J.³, Slaughter, D.C.⁴

¹ Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluido, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera km1 Sevilla 41013, E-mail: manuelperez@us.es.

² LPF-TAGRALIA: Técnicas Avanzadas en Agroalimentación, E.T.S. de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid

³ Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Campus Rabanales 14014 Córdoba

⁴ Department of Plant Sciences and Biological and Agricultural Engineering, Sensor and Instrumentation Lab, University of California, Davis, One Shields Ave, Davis, CA 95616, USA

Resumen

La automatización en el manejo de la mala hierba de forma individualizada está siendo una realidad cada vez más cercana, tanto objetivos de eficiencia como de beneficio económico se están consiguiendo. En un futuro muy próximo la mecanización y su diseño tendrá que contemplar técnicas de monitorización o detección de precisión. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de un sensor óptico para determinar el espacio entre las plantas de una misma línea de cultivo en diferentes condiciones: laboratorio y campo. Este equipo de trabajo ha investigado la detección del cultivo con un sensor fotoeléctrico de infrarrojo (880 nm) en modo opuesto. La barrera fotoeléctrica de transmisión, usa un par de sensores y al paso de la planta por la cortina de luz interrumpe el haz. La señal de luz se recibe de forma simultánea en tiempo real mediante un sistema de control de alta velocidad. El sensor fotoeléctrico fue capaz de detectar la planta de tomate y por tanto de terminar la separación entre ellas de forma muy precisa. El uso de sistemas de detección como este puede dar lugar a una nueva era que permita el control en la línea de cultivo de la mala hierba de forma más económica y a la automatización de la operación. El control preciso de la mala hierba es un reto importante para este grupo, por ello tenemos previsto seguir trabajando en esta línea.

Palabras clave: detección de tomates, LIDAR, sensor infrarrojo, control preciso de mala hierba

Optical sensor to determine plant spacing for precise application

Abstract

Automation of individual crop plant care in commercial vegetable crop fields has increased practical feasibility and improved efficiency and economic benefit. Its systems approach is taken in the mechanization engineering design by the incorporation of precision sensing techniques. The objective of this study was design-sensing capabilities in an implement for measuring plant spacing under different test conditions: laboratory and field. For that proposal, a photoelectric transmission barrier, by using an optical light curtain transmitter and receiver, evaluated the interruption by the tomato stem of the light curtain, being recorded simultaneously in real-time by a high-speed embedded control system. The optical sensor provided tomato plant detection and therefore the spacing between tomato plants was determined with accuracy. The use of this detection system may result in a new era that allow for an online control of aggressive weeds and the automation of weeding tools, which we plan to pursue through future research.

Keywords: tomato detection, LIDAR, infrared sensor, precise crop protection

Introducción y/o Justificación

Estudios reciente en el sector agrícola han identificado que las principales barreras para conseguir un agricultura sostenible se encuentran en muchas de las técnicas actuales de cultivo y se pone de manifiesto que el sector está inmerso en grandes cambios en la forma de recopilar, analizar, y utilizar la información para conseguir agregar valor a su producción (Fennimore *et al.*, 2010). En los últimos años se han conseguido grandes

retos y se han introducido mejoras sustanciales en lo concerniente a las prácticas agrícolas en los cultivos en líneas (ej. remolacha azucarera, tomate, etc.) (Norremark *et al.*, 2007; Pérez-Ruiz *et al.*, 2012). No obstante, y dada la tendencia a la disminución del proteccionismo agrícola por parte de Europa, es obligatorio reorientar la producción, de forma que estos cultivos sean más competitivos por sí mismos. Desde este punto de vista, la automatización de las tareas de protección de cultivos puede ser el punto de partida de una nueva filosofía productiva, más competitiva, más económica, más eficiente y más respetuosa con el medio ambiente.

En la forma convencional de trabajar en áreas donde no existe o existen poca cantidad de mala hierba, se aplica la misma cantidad de herbicida que en aquellas otras donde la densidad de mala hierba es mayor. Se está trabajando fundamentalmente en dos metodologías para conocer la localización de la mala hierba en el campo: a) detección en tiempo-real basada en sensores y b) la generación de mapas de infestación. Con respecto a esta última metodología, Pérez-Ruiz *et al.*, (2015) presenta los resultados del proyecto RHEA (Robot Fleets Highly Effective Agriculture and Forestry Management) donde se ha conseguido una reducción de herbicida de hasta un 75% del líquido aplicado por hectárea. Estos resultados muestran la viabilidad de uso de los equipos inteligentes de aplicación y abre una nueva era en el control de infestaciones, logrado con la automatización una operación más económica, sostenible y eficiente.

En los últimos 10 años un gran número de trabajos científicos han abordado diferentes tecnologías para la detección de la mala hierba en tiempo real (p.ej. Cope *et al.*, 2012; Weis and Sökefeld 2010; Christensen *et al.*, 2009; Slaughter *et al.*, 2008; Brown and Noble 2005). Algo clave y coincidente en todos los trabajos es la limitación en la adopción del control automático de mala hierba por la falta de un método de detección robusto y asequible. Otros autores han decidido abordar el control automático de la mala hierba localizando los cultivos con precisión centimétrica durante la operación de siembra (Ehsani *et al.*, 2004) o plantación (Sun *et al.*, 2010) utilizando un sistema de posicionamiento global en tiempo real (GNSS-RTK). Así mismo, la localización de forma precisa de la planta de cultivo, además de posibilitar el control automático de la mala hierba, también posibilita un tratamiento individualizado planta a planta (p.ej. fumigación, nutrientes).

En el ámbito de los viveros forestales, Kranzler *et al.*, (1988) desarrolló un contador de árboles en estado de plántula a través de sensores optoelectrónicos. Una cortina de luz formada por varios emisores infrarrojos (LED) a un lado de las plantas y receptores instalados al otro lado y bien alineado con los emisores, producen el bloque del haz de luz al pasar la planta. Este bloqueo permitió contar árboles y los resultados mostrados por estos autores presentaron errores desde el 4% al 58% en el conteo debido a las diferentes configuraciones de los sensores. También en viveros, un estudio más reciente, Garrido *et al.*, 2014 desarrolló una metodología con sensores ópticos para contar el número de árboles existente en una línea de cultivo y además diferenciar los árboles que se encontraban con vida de los muertos.

Los sensores mecánicos para la detección de la mala hierba o cultivo no han tenido grandes avances en últimos 40 años (Garrett 1966). Presentan la gran limitación de uso, necesitan del contacto directo con cada una de las plantas, una operación difícil de realizar a velocidades operativas sin riesgo de daños mecánicos para el cultivo.

El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de un sistema de sensores para determinar el espacio entre las plantas de una misma línea de cultivo en diferentes condiciones: laboratorio y campo. Este equipo de trabajo ha investigado la detección del cultivo y ha determinado la distancia entre plantas de una misma línea de cultivo con un sensor fotoeléctrico de infrarrojo (880 nm) en modo opuesto.

Material y Métodos

Plataforma de Laboratorio

La plataforma de laboratorio está formada por 4 elementos esenciales para poder detectar las plantas de tomate y de esta forma estimar la separación entre ellas.

a) Un sensor fotoeléctrico de infrarrojo (880 nm) en modo opuesto. En este modo, el emisor y el receptor están ubicados en posiciones opuestas entre sí, pero alineados, de modo que la luz del primero incide directamente sobre el segundo. La detección se produce por el bloqueo (al menos el 50%), es decir cuando la planta interrumpe el haz de luz emitido. Una pequeña desventaja es que los cables de alimentación y señal que van hacia estos dispositivos no pueden ser los mismos.

Tabla 2. Datos técnicos del Mini-Beam SM31 EL/RL

Características	Interfaces / mecánica / electrónica
Alcance: 30 m	Tipo de salida: Bipolar NPN/PNP
Fuente de luz: Infrarrojo (880 nm)	Alimentación: 12 V DC
Frecuencia máxima: 500 Hz	Calificación ambiental: IEC IP 67
Distancia del haz: \approx 35 mm	Temp. de funcionamiento: -20°C to +70°C

b) Encoder óptico (Grayhill modelo 63R256) para medir posiciones angulares. La resolución del encoder, número de pulsos por cada revolución del eje, es de 256 pulsos. El diámetro del eje sobre el que se mide es de 6,3 mm.



Figura 1. Encoder utilizado en la plataforma de laboratorio para estimar distancia entre plantas (Grayhill 63R256)

c) Para recibir la información procedente del sensor y el encoder se ha utilizado el microcontrolador ATme32u4 (Arduino modelo Leonardo). Este controlador recibe de forma simultánea la señal de bloqueo del haz de los sensores y los pulsos generados por el encoder, mostrando esta información en pantalla y almacenándola en una tarjeta de memoria SD para su posterior procesamiento.

Tabla 3. Características del microcontrolador ATmega32u4

Microcontrolador	ATmega32u4
Tensión de trabajo	5V
Alimentación	7-12V
Conección	Micro-USB
Entradas analógicas y digitales	5+14

d) Bandeja de transporte de plantas artificiales 3D, simulando a una línea de cultivo. Un motor eléctrico a 12V unido a un sistema de transmisión permite establecer una velocidad lineal de 0,378 m/s de un mecanismo unido con eslabones en el cual se colocan las plantas artificiales separadas cada 10 cm. Las plantas han sido diseñadas en el programa AutoCAD 3D e impresas en la impresora Prusa i3 Hephestos (Mundo Reader S.L., Madrid), el diseño de las mismas ha sido modular, consiguiendo de esta forma la misma geometría de todas las plantas para su estudio en laboratorio.

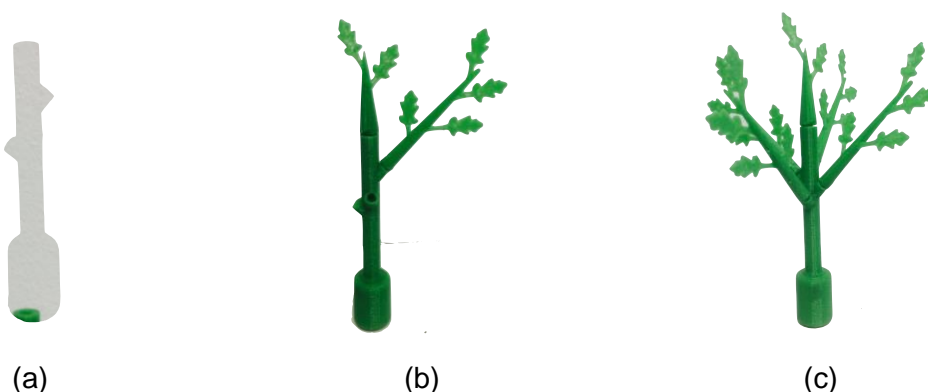


Figura 2. Planta modular 3D utilizada para su detección en laboratorio

Plataforma de Ensayos de Campo

En las medidas realizadas sobre plantas reales (en campo) se ha utilizado el mismo sensor fotoeléctrico de infrarrojo para la detección y el mismo encoder que en laboratorio, por lo que no se procede a su descripción en este apartado. Para los ensayos de campo fue diseñada una estructura de arrastre para colocar y ajustar la pareja de sensores a las condiciones de campo (**Figura 3**).

Para el sistema de adquisición de la plataforma sensórica utilizada en campo, las señales de salida del sensor han sido conectados a un módulo digital bidireccional (NI 9403, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.), mientras que la señal del encoder se conectó a un módulo de entradas digitales (NI 9411, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.). Ambos módulos se integran en un NI cRIO 9004 (NI 9411, National Instruments Co., Austin, Texas, EE.UU.), y todos los datos se registraron utilizando el programa Labview de National Instruments Co.

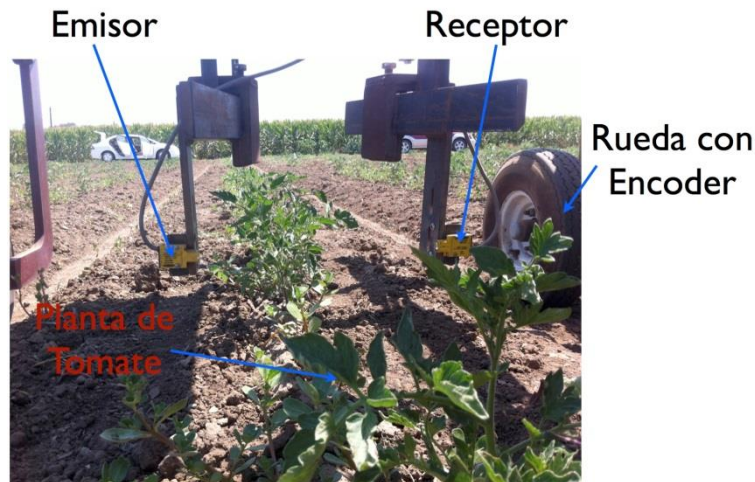


Figura 3. Emisor y receptor fotoeléctrico usado en la plataforma de campo para la detección de plantas de tomate

En estos primeros ensayos de campo, donde se ha puesto en marcha esta nueva metodología para la detección y estimación de la separación entre plantas dentro de una línea de cultivo, se ha trabajado en tres líneas de cultivo de unos 20 m aproximadamente.

Método de caracterización de la planta con el sensor infrarrojo

En el ensayo de laboratorio la altura efectiva de emisor y receptor fue de 4 cm y la altura de las plantas 3D de 13 cm, en el ensayo de campo el sensor fue colocado a unos 12 cm del suelo (altura media de plantas reales 19,5 cm) para evitar obstáculos propios del campo (ej. terrón, leve bache, etc.). El receptor fue configurado para obtener un pulso TTL de salida en cada ocasión que el haz de luz fue bloqueada por alguna parte de la planta. Esta forma de trabajar permite monitorizar y, posteriormente, analizar la distancia entre plantas dentro de una misma línea de cultivo. Para el análisis de los datos registrados en el estudio, fue empleado el programa Matlab (MATLAB R2015b, The MathWorks, Inc., Natick, MA, EE.UU.).

La calibración del sistema fue llevada a cabo mediante el empleo de 33 plantas artificiales en laboratorio y 122 plantas de tomate reales en campo.

La metodología utilizada para la detección del tallo de la planta de tomate con el sensor óptico se basó en los siguientes pasos:

1. Selección de los valores de las variables que utilizara el programa para llevar a cabo la detección de los tallos:

- a. *pulse_distance_relation*: Esta variable nos permitirá convertir los pulsos del encoder en distancias avanzadas por el sistema móvil. En laboratorio el encoder fue acoplado al eje que proporciona el movimiento a las plantas 3D y en campo a una rueda instalada en la estructura sensórica. Los factores de conversión empleados para los ensayos fueron de 1,2 y 0,98 mm por pulso para laboratorio y campo respectivamente.
- b. *detection_filter*: Filtrado de las detecciones registradas por el sensor. La finalidad será la de eliminar posibles erróneas detecciones, sobre todo durante los ensayos

de campo, debido a la interacción de hojas, ramificaciones e incluso malas hierbas. Para ello, se procedió a filtrar toda aquella detección con un longitud o distancia recorrida, mientras el sensor se encontraba activo (detección en forma continua), menor a 4 mm.

- c. *theoretical_plant_distance*: Distancia teórica entre las plantas de una línea de cultivo. El valor fijado durante los ensayos fue de 100 mm y 380 mm para laboratorio y campo respectivamente.
 - d. *expected_plant_distance*: Distancia esperada entre las plantas de una línea de cultivo, siendo su valor la distancia teórica definida anteriormente con un error del 20%.
2. Importación de los datos en bruto registrados por los sensores (encoder y existencia “1” o ausencia “0” de detección por parte del sensor). Conociendo el factor de conversión (*pulse_distance_relation*), se incluye para cada valor de encoder su distancia, en milímetros, correspondiente.
3. Filtramos los datos mediante la eliminación de toda aquella detección cuya longitud o distancia recorrida, mientras el sensor seguía activo, sea menor al valor fijado (*detection_filter*). De este modo se seleccionaran los posibles candidatos, registrándose para cada detección: la distancia del inicio de la detección; la distancia del final de la detección; distancia recorrida durante la detección; y media de dicha detección, lugar donde se considerara que se encuentra el tallo de la planta.
4. Evaluación de la distancia entre la media de la detección de dicho candidato con la anterior planta potencial:
- a. Si esta distancia es mayor al valor fijado (*expected_plant_distance*), consideramos a este candidato como una nueva planta potencial a considerar, registrándose en una nueva matriz: el número de la planta; las detecciones que la conforman; la localización del punto medio de las detecciones; la distancia con la planta potencial anterior.
 - b. Si esta distancia es menor al valor fijado (*expected_plant_distance*), añadiremos los datos de este candidato a la planta potencial anterior, volviendo a calcular de nuevo todas las componentes de dicha planta potencial. Para la selección del nuevo punto medio, se considerara la localización, en donde existe una detección, más próxima al punto medio teórico del nuevo rango de datos.

Resultados y Discusión

Resultados en los ensayos de laboratorio

A modo de ejemplo se muestra la Figura 4a y 4b del ensayo número 3 llevado a cabo en laboratorio. La Figura 4a muestra las posiciones de las detecciones de los tallos de tomate y la distancia estimada entre ellos. En cada uno de los tres ensayos realizados en laboratorio el 100% de los tallos fueron detectados con el sensor infrarrojo. Con la información que transmite la Figura 4a, rápidamente se puede llegar a pensar que abordar algún tipo de actuación entre plantas en una misma línea de cultivo o algún tratamiento sobre la planta sería una actuación muy simple y precisa. No olvidemos que en condiciones de laboratorio no se encuentran obstáculos en la línea de cultivo, situación que dista de lo que podemos encontrar en campo. La Figura 4b nos muestra el

diámetro del tallo medido para una de las plantas del ensayo 3 de laboratorio, valor medio estimado de diámetro 11,2 mm y el valor real del tallo 10 mm.

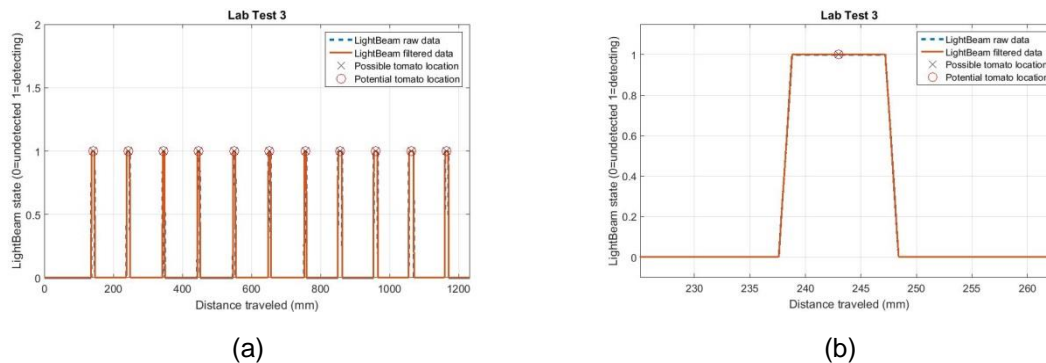


Figura 4. a) Posiciones de los tallos de las 11 plantas en el ensayo de laboratorio número 3 y b) posición media de la planta durante un recorrido de unos 11 mm.

La Figura 5 muestra para los tres ensayos de laboratorio el histograma para las distancias estimadas entre tallo y tallo de planta. La distancia media estimada de tallo a tallo para los tres ensayos es 102,5 mm, la distancia real medida entre plantas es de 100,0 mm. La desviación estándar media para los tres ensayos es de 2,2 mm. Si nos centramos en el ensayo 3, último gráfico en la Figura 5, se observa como todas las distancias entre plantas fueron estimadas entre los valores de 100,1 mm y 103,8 mm.

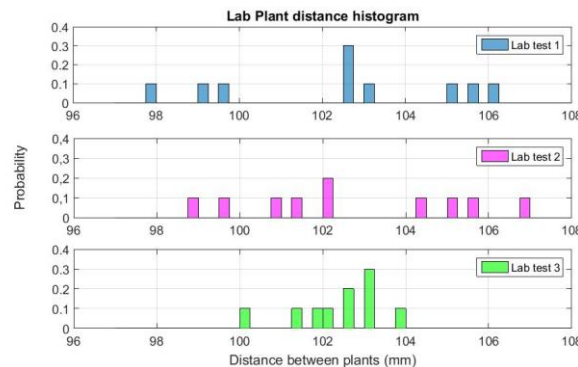


Figura 5. Histograma para las distancias estimadas entre tallo y tallo de planta en laboratorio (mm)

Resultados en los ensayos de campo

A modo de ejemplo se muestra la Figura 6a y 6b del ensayo número uno llevado a cabo en campo. A diferencia con las detecciones realizadas en laboratorio, en los datos registrados y analizados de campo, la distancia determinada entre tallo y tallo presenta mayor variabilidad. Esta variabilidad se produce fundamentalmente por falta de plantas en la línea de cultivo o por encontrar alguna mala hierba muy próxima al tallo de la planta a detectar. En la Figura 6b se observa como se establecen varias posiciones para los posibles candidatos (aspa), siendo la planta potencial sólo una (circulo).

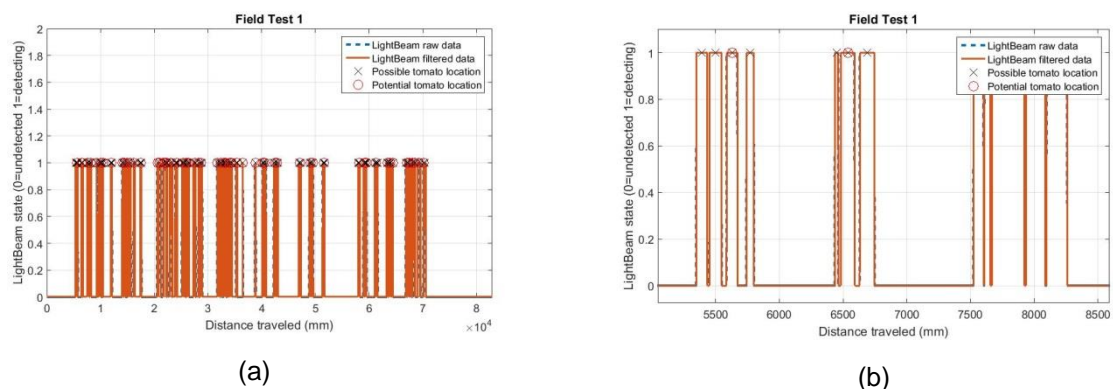


Figura 6. a) Posiciones de los tallos de las 41 plantas en el ensayo de campo número 1 y b) posición de la planta denominada potencial.

Para el ensayo de campo número uno se produjeron 41 detecciones cuando existían 32 plantas reales en la línea de cultivo, esto ha supuesto para este ensayo un error en el número de detecciones del 22%. En cambio en el ensayo número dos se produjeron 32 detecciones de tallos cuando existían 34 plantas reales en la línea, esto significó un 94% de acierto. En el ensayo número tres el acierto fue del 98%.

Tabla 4. Porcentajes de acierto en la detección de tallos en campo

	Plantas Reales	Plantas Detectadas	% Aciertos
Ensayo 1	32	41	78
Ensayo 2	34	32	94
Ensayo 3	48	49	98

Conclusiones

Estos primeros resultados muestran que el uso de un sensor infrarrojo representa una técnica útil para detectar tallo de plantas en líneas y estimar con precisión la distancia entre los tallos. Entre otros logros de este trabajo pueden citarse:

- Construir una plataforma sensórica con éxito para los ensayos de laboratorio y de campo, consiguiendo registrar medidas ópticas (sensor) y posiciones (encoder) de forma simultánea para una línea de cultivo.
- Alto porcentaje (100%) de tallos detectados con éxito con el sensor infrarrojo y en laboratorio, con un valor bajo de error en la localización y por tanto en la distancia estimada entre tallos.
- Un 90% como porcentaje medio de tallos detectados en campo, con una mayor variabilidad en la estimación de distancia entre tallo de plantas.

El uso de sistemas de detección como este puede dar lugar a una nueva era que permita el control en la línea de cultivo de la mala hierba de forma más económica y a la automatización de la operación. El control preciso de la mala hierba es un reto importante para este grupo, por ello tenemos previsto seguir trabajando en esta línea.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro de las actuaciones y con la financiación del proyecto Autonómico de Excelencia “P12-AGR-1227”. Los autores desean expresar su reconocimiento a todos los participantes del proyecto mencionado y al “Precision Agriculture Laboratory” de la Universidad de Sevilla (<http://grupo.us.es/pal/>).

Bibliografía

- Brown, R.B., Noble, S.D., 2005. Site-specific weed management: sensing requirements- what do we need to see? *Weed Sci.* 53, 252-258
- Christensen, S., Sogaard, H.T., Kudsk, P., Norremark, M., Lund, I., Nadimi, E.S., Jorgensen, R., 2009. Site-specific weed control technologies. *Weed Res.* 49, 233-241
- Cope, J.S., Corney, D., Clark, J.Y., Remagnino, P., Wilkin, P., 2012. Plant species identification using digital morphometrics: a review. *Expert Syst Appl.* 39, 7562-7573
- Ehsani, M.R., Upadhyaya, S.K., Mattson, M.L., 2004. Seed location mapping using RTK-GPS. *Trans Am Soc Agric Eng.* 47, 909-914
- Fennimore, S.A., Tourte, L., Rachuy, J.S. Smith, R.F., George, C., 2010. Evaluation and Economics of a Machine-Vision Guided Cultivation Program in Broccoli and Lettuce. *Weed Technology*, 24(1), 33-38.
- Garrett, R. E., 1966. Device designed for synchronous thinning of plants. *Agricultural Engineering* 9, 652-653.
- Garrido, M., Pérez-Ruiz, M., Valero, C., Gliever, C., Hanson, B.D., Slaughter, D.C., 2014. Active optical sensors for tree stem detection and classification in nurseries. *Sensors* 14(6), 10783-10803.
- Kranzler, G. A. 1988. An opto–electronic tree seedling counter. ASAE Paper No. 88–7521, St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Nørremark, M., Søgaard, H. T., Griepentrog, H. W., Nielsen, H., 2007. Instrumentation and method for high accuracy georeferencing of sugar beet plants. *Comput Electron Agric.* 56, 130-146.
- Pérez-Ruiz, M., Slaughter, D.C., Gliever, C.J., Upadhyaya, S.K. 2012. Automatic GPS-based intra row weed knife control system for transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 80, Pages 41-49.
- Pérez-Ruiz, M., Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernández-Quintanilla, C., Peruzzi, A., Vieri, M., Tomic, S., Agüera, J., 2015. Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Comput Electron Agric.* 110, 150-161.
- Slaughter, D.C., Giles, D.K., Downey, D., 2008. Autonomous robotic weed control systems: a review. *Comput Electron Agric.* 61, 63-78
- Sun, H., Slaughter, D.C., Pérez-Ruiz, M., Gliever, C., Upadhyaya S.K., Smith, R.F., 2010. RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Comput Electron Agric.* 71, 32-37
- Weis, M., Sökefeld, M., 2010. Chapter 8: Detection and identification of weeds. In: Oerke E-C et al (eds) *Precision crop protection – the challenge and use of heterogeneity*. Springer, Dordrecht, pp 119-134

AP06 - Desarrollo de un prototipo universal para adaptación de equipos centrífugos de abono convencionales en equipos de aplicación variable.

Martínez, J.¹, Pérez-Ruiz, M.¹, Castro, S.², Agüera, J.²

¹Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluido, Universidad de Sevilla, Ctra. Sevilla-Utrera km1 Sevilla 41013, E-mail: martinezj@us.es; manuelperez@us.es.

²Dpto. de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Campus Rabanales 14014 Córdoba, E-mail: scastro@us.es; jaguera@uco.es.

Resumen

La Agricultura de Precisión constituye un nuevo paradigma en la agricultura de hoy. A objetivos como el aumento de la productividad o de la eficiencia económica, se les unen otros en auge como el respeto medioambiental y un riguroso control en la seguridad alimentaria. En general las técnicas de agricultura de precisión requieren de un mejor conocimiento de las necesidades del cultivo y del suelo, y también del empleo de la maquinaria más adecuada que tenga en cuenta la variabilidad espacial y temporal en las necesidades de los cultivos. En este contexto, este estudio tiene como objetivo principal, el diseño, desarrollo y evaluación de una plataforma universal para controlar una abonadora centrífuga convencional mediante un monitor comercial inicialmente diseñado para el control de barras de pulverización de productos líquidos, lo que permite la adaptación dinámica de la cantidad de fertilizante sólido según las necesidades reales del cultivo. Para el desarrollo del sistema de control fue necesario realizar una caracterización de la abonadora mediante pruebas de calibración del sistema dosificador. También se han desarrollado los distintos módulos de hardware (módulo para el control de los discos, interacción con el sistema de control de líquidos comercial, etc.) necesarios para automatizar las acciones que se realizan durante el funcionamiento de la máquina. Para la gestión del sistema se utiliza la plataforma de hardware libre de bajo coste Arduino que resulta fácilmente adaptable para otras abonadoras, desarrollando un software capaz de gestionar el resto de componentes. Finalmente se monta todo el conjunto a bordo del tractor y se realizan las pruebas de funcionamiento. Se comprobó que el sistema trabaja correctamente, con una respuesta adecuada, consiguiendo automatizar el proceso de variar la dosis durante la marcha de forma eficaz. Como se observa en estos primeros resultados, la utilización de este equipo como elemento importante en una aplicación variable de insumos, puede suponer una reducción económica y del impacto medioambiental de la operación, además de permitir una distribución mas racional del nitrógeno u otros fertilizantes en campo, algo sin duda de especial relevancia en sistemas modernos de producción.

Palabras clave: agricultura de precisión, arduino, low-cost, controlador

Universal prototype for adapting from conventional centrifugal fertilizer to variable-rate spreader.

Abstract

Precision Agriculture represents a new paradigm in modern agriculture. To objective such as increasing productivity and economic efficiency, are joined other arising objective as the environmental concern. Precision agriculture techniques require a better understanding of crop and soil needs, and the use of precise machinery that take into account the spatial-temporal variability across fields. In these terms, the goal of this study was the design, development and evaluation of a universal platform to control a conventional disc fertilizer spreader, and thus able to manage the amount of fertilizer on the go. A specific on-field calibration was necessary to determine the spreader settings for a given type of fertilizer. The components of the hardware modules (control system of disks, interaction with sections control system, etc.) capable of automating actions performed in operation of the spreader were developed. The control system was developed based on an open-source and low-cost microcontroller-board (Arduino), which could be adapted easily to other spreader model, and a firmware capable to control the hardware components. Once installed on-board, field tests were provided to investigate the proper

functioning and response time (approx. 1 sec) of the control system and achieve automate the process of varying the fertilizer dose on the go. As noted these preliminary results, the utilization of this prototype as an essential part of a variable input application may found an economic reduction in fertilizer operation and environmental impact, and allows the control of nitrogen or other fertilizer in fields, techniques that definitely significant in modern agriculture production systems.

Keywords: precision agriculture, arduino, low-cost, controller

Introducción y/o Justificación

Desde sus inicios, la agricultura se ha ido beneficiando de una sucesión de desarrollos tecnológicos en busca de un aumento tanto en la productividad como en la eficiencia económica de los cultivos. Persiguiendo estos mismos objetivos, y añadiendo otros en auge como el respeto medioambiental y un mayor control sanitario de los alimentos, surge en la década de los noventa la Agricultura de Precisión basada en el manejo localizado. El manejo tradicional de los cultivos implica que los trabajos de fertilización, riego, control de mala hierba, etc. se realicen de manera uniforme, mientras que el nuevo planteamiento que proponen estas técnicas es el de una gestión más sostenible basada en las necesidades reales de insumos atendiendo a la variabilidad existente en cada una de las distintas zonas de una parcela de cultivo.

La posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad de las necesidades de los cultivos constituye el paso previo para la confección de un mapa de aplicación, entendiendo éste como eslabón intermedio que permite introducir la información necesaria en un equipo o implemento que trabaje modificando la cantidad de producto aplicado. Para ello la agricultura de precisión necesita de la recolección (Hu and Mo, 2011) y tratamiento de datos e información para efectuar una correcta toma de decisiones (Ferguson *et al.*, 2013).

En este sentido, el uso de la teledetección y los sistemas de posicionamiento por satélite (GNSS) para navegación han demostrado ser herramientas muy útiles en explotaciones agrícolas, permitiendo la georreferenciación de los elementos en parcela y la realización de tareas con un solape ajustado, consiguiendo un ahorro significativo de los insumos aportados. En la última década, y ayudado por el desarrollo en las técnicas de correcciones diferenciales, se han popularizado entre los agricultores y empresas de servicios los sistemas de guiado automático en maquinaria agrícola (ej. tractor), permitiendo una precisión centimétrica en operaciones agrícolas, incluso en condiciones de visibilidad reducida además de un ahorro del tiempo empleado (Pérez-Ruiz *et al.*, 2011).

Estas técnicas pueden tener una especial relevancia en la fertilización nitrogenada, que en el marco de la AP, requiere de equipos y máquinas capaces de realizar una variación de la dosis de aplicación en función de las necesidades. La maquinaria de aplicación variable, ya presente en muchos modelos de la mayoría de fabricantes, adolece de una lenta adopción por parte de los agricultores en principio achacable a su mayor precio pero fundamentalmente, a la incertidumbre que todavía genera la posibilidad de disponer de información precisa y fiable para la confección de un correcto mapa de prescripción. En este sentido, se hace necesaria una mayor coordinación entre las empresas que suministran imágenes tomadas desde drones o vehículos tripulados, empresas de servicio y gestión de explotaciones y distribuidores de maquinaria que son los encargados de materializar la aplicación. En este trabajo se presentan algunos de

los aspectos más relevantes para la puesta en práctica de estas técnicas de dosificación variable de abonos nitrogenados así como de la maquinaria y dispositivos electrónicos existentes en el mercado actual capaces de llevar a cabo dichas tareas.

El objetivo de este trabajo ha sido la adaptación de una abonadora centrífuga de discos convencional para la realización de abonado variable de forma automatizada haciendo uso de un monitor comercial para el control de líquidos, y una primera evaluación en condiciones reales de campo.

Materiales y Métodos

Para conseguir los objetivos propuestos es necesario conocer las características de la abonadora y los parámetros que caracterizan el abono que se quiere aplicar. Así mismo, es necesario disponer de un sistema de control y gestión que permita automatizar los movimientos de apertura y cierre del sistema dosificador de la abonadora. Para ello ha sido utilizado un sistema de control basado en Arduino.

Equipos empleados

El equipo de abonado empleado en el desarrollo de este trabajo ha sido una abonadora centrífuga de discos convencional (Marca SOLA, modelo D-903) (**Figura 1a**). Algunas de las características técnicas de este equipo son: equipo suspendido, frecuencia de giro de los discos, 675 r.p.m.; ancho de trabajo, de 15 a 24 m; número de palas por disco, 3; distancia entre los centros de los discos, 1140mm. En condiciones normales la regulación de caudal se hace de forma manual con una palanca, eligiendo la posición de la misma conforme a tablas del fabricante en función del abono escogido, el ancho de trabajo, la dosis en kg/ha y la velocidad a la que se pretende trabajar.

En este trabajo se ha modificado el sistema de conexiones de la abonadora y sus componentes para posibilitar la apertura y cierre automáticos de los dosificadores mediante actuadores lineales (**Figura 1b**), gestionados por el sistema de control.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Vista lateral de la abonadora utilizada y (b) actuador lineal para apertura y cierre

Además se ha utilizado un sistema comercial de control de 10 tramos, usado para aplicación de líquidos (TRIMBLE, modelo EZ-Boom). El equipo ha sido adaptado para trabajar con un abono sólido usando sólo 2 tramos, uno para cada cuerpo de los que dispone la abonadora. Además del equipo de control de tramos se ha usado un sistema de ayuda al guiado mediante GNSS para una conducción más eficiente del tractor,

reduciendo la posibilidad de dejar huecos o hacer solapes en la aplicación. Este mismo monitor nos posibilita la introducción de parámetros de ajuste y calibración (ancho de trabajo, posición de la antena, dosis a aplicar etc).

El sistema ha sido montado en un tractor de tracción simple, con ruedas delanteras bajas que entrega una potencia de 55,2 kW (John Deere, modelo 1840). La toma de fuerza puede girar a 540 o 1000 rpm y el régimen de par máximo es de 1200 rpm.

Como producto fertilizante se ha utilizado urea, con un contenido del 46% de nitrógeno y un 1,2% de Biuret (Fertiberia Andalucía). Se presenta en forma perlada de color blanco, duro y sin poros para evitar la acción de la humedad.

Hardware del sistema de control

El equipo comercial de control de líquidos utilizado, se basa en la lectura continua de la señal de frecuencia variable procedente de un sensor tacométrico de caudal usado como información de entrada. Proporciona dos señales digitales de salida: una para hacer que la válvula reguladora de caudal aumente el flujo de líquido destinado a la aplicación y otra para reducirlo. Cuando ambas salidas digitales se encuentran en su valor bajo, la válvula reguladora de caudal está correctamente ajustada a la dosis actualmente requerida.

Para el caso de la distribución de productos sólidos, no existe un medidor del caudal másico del abono que fluye por la trampilla de salida hacia los discos centrífugos para proporcionarnos la información de entrada. En su lugar se emplea la posición instantánea del actuador lineal con el que se realizan las operaciones de apertura/cierre de la trampilla dosificadora original. Esta posición está relacionada con el flujo másico de salida del abono según una ecuación empírica que previamente es necesario determinar.

Los actuadores lineales usados en ambos cuerpos de la abonadora incorporan un encoder doble, sensor que permite al sistema conocer su posición actual mediante el conteo en ambos sentidos (ascendente/descendente) de los pulsos de tensión que se generan durante su movimiento de apertura/cierre.

El sistema desarrollado permite leer continuamente la señal procedente de ambos encoders para mantener actualizados sus contadores de pulsos, que representan el grado de apertura de las trampillas dosificadoras. El valor de estos contadores es convertido continuamente, mediante la función de calibración obtenida, en una señal PWM (Pulse Width Modulation) de ancho de pulso proporcional al caudal másico actual, que posteriormente se transforma en una señal de frecuencia variable similar a la proporcionada por los sensores de caudal volumétrico, para ser enviada a la entrada del equipo EZ-Boom. Sus salidas digitales se emplean para activar los actuadores lineales.

Para la creación del sistema se ha utilizado una plataforma de hardware libre y código abierto (Arduino UNO R3) basada en una placa con un microcontrolador programable con un entorno de desarrollo propio. Se trata de una placa con el microcontrolador ATmega328 (memoria de 32 Kilobytes, 2kB de memoria SRAM y 1kB de memoria EEPROM), que dispone de 14 pines de entradas/salida (de los cuales 6 se pueden emplear como salidas de señal PWM), 6 pines de entrada analógica, conector USB, conector de alimentación, botón de reset y toda la circuitería impresa en la PCB (Printed Circuit Board).

La alimentación de la placa se puede realizar de dos formas: mediante conexión USB o con fuente de alimentación externa. Para alimentación externa se recomienda entre 6 y 20V, aunque no es recomendable trabajar con más de 12V puesto que el regulador de voltaje puede sufrir sobrecalentamiento. En este trabajo se ha utilizado la alimentación procedente del tractor, lo que nos entrega 12V, que son transformados mediante un regulador de voltaje en 7V para alimentación de la placa Arduino.

Una de las funciones principales del módulo Arduino es el control de los movimientos del actuador lineal que permite el cierre y apertura del sistema dosificador original de cada módulo de la abonadora. Para llevar a cabo estos movimientos se ha diseñado una placa de pruebas de prototipos donde se han montado cuatro relés (FINDER, modelo 40.52). Son relés miniaturizados para pinchar en la placa de pruebas. De los cuatro relés, dos son usados para activar el movimiento del actuador derecho de la abonadora (la activación de uno para la apertura y del otro para el cierre) y los otros dos realizan las mismas acciones en el actuador de la izquierda.

Caracterización granulométrica del fertilizante utilizado

La granulometría del abono tiene una gran influencia sobre la curva de calibración obtenida posteriormente. Se ha realizado un análisis que nos permite conocer la distribución del tamaño de las partículas. Para ello se tomaron 5 muestras de aproximadamente 500 g. El abono se hace pasar por 5 tamices con diámetros decrecientes de 5 mm, 2mm, 1mm, 0,6 mm y 0,4 mm, y es pesada la cantidad retenida por cada uno (**Figura 2**).



Figura 2. Muestras de Urea (arriba) y tamices empleados en la granulometría (abajo)

Ensayo de recepción y conteo de pulsos para el posicionado de los actuadores

Con este ensayo se pretende confirmar la correcta recepción por parte del sistema desarrollado, de los pulsos provenientes de los encoders con que van equipados los actuadores lineales de la abonadora, para las distintas posiciones del mismo, así como que el programa desarrollado respondía como contador de forma veraz, aumentando en los movimientos de apertura y disminuyendo en los cierre. Contabilizar los pulsos e incorporar esta información de manera apropiada al flujo del programa es muy importante para el correcto control del sistema dosificador. El valor instantáneo del

contador de pulsos de cada actuador deberá informar al software de su posición actual siendo este el origen del valor de caudal másico obtenido mediante la función de calibración, que será a su vez enviado en forma de frecuencia variable al equipo EZ-Boom.

El ensayo consistió en situar en 35 posiciones diferentes el recorrido de apertura/cierre de la trampilla dosificadora. Cada posición está definida por el valor numérico del indicador mecánico sobre la escala graduada original (de 0 a 20) de la máquina abonadora. Para cada posición se tomó la lectura del contador de pulsos proporcionado por el programa. Se realizaron 3 repeticiones siguiendo esta metodología.

Ensayo de calibración de la abonadora

El objetivo de este ensayo es la obtención de una función de calibración empírica que relacione el caudal másico de abono que salía por la trampilla de la abonadora con el grado de apertura de la misma, lo cual constituye el modelo matemático que será implementado en el programa de Arduino para obtener el ancho de pulso de la señal PWM en función de dicho grado de apertura.

Se realizaron 3 repeticiones en las que se obtuvo el caudal másico correspondiente a 10 posiciones del recorrido del actuador. Estas posiciones cubrían sólo la primera mitad del recorrido ya que se comprobó que mas allá de la mitad se originaban caudales fuera del intervalo usado normalmente por esta abonadora.

La posición del actuador fue determinada tanto por el indicador mecánico como por el número de pulsos del contador tal y como se describió anteriormente. La determinación del caudal másico real se realizó a partir de la medida experimental del peso de abono recogido durante un tiempo que se fijó en 194 s.

Ensayo de campo del equipo

Se realizaron dos tipos de ensayo. El primero consistió en ajustar distintos valores de dosis manualmente desde el equipo EZ-Boom mientras la abonadora avanzaba a una velocidad constante pero sin abono en la tolva. Durante el ensayo se registraba en un ordenador portátil el valor de los contadores de pulsos de los actuadores y la posición del indicador mecánico, mediante una cámara de video enfocada a dicho indicador. Su objetivo era comparar el caudal másico objetivo, resultado de la dosis programada y demás parámetros de funcionamiento, con el caudal másico estimado obtenido a partir de la función de calibración y las lecturas de contadores. El segundo consistió en la aplicación de urea a un cultivo de trigo en dos parcelas de 5 ha con dosificación variable en 2 niveles: 155 y 185 kg/ha. Su objetivo fue conocer la respuesta del sistema en condiciones reales de campo.

Resultados y Discusión

Ensayo de granulometría

La Tabla 1 nos muestra los valores de peso medio de los diferentes tamices utilizados en laboratorio. Como se puede observar en la columna de la derecha predominan los gránulos de 1 mm de diámetro medio, siendo su presencia superior al 90%, considerándose un abono perlado prácticamente uniforme.

Tabla 1. Valores medio de las 5 muestras observados de abono de aprox. 500 g

Diámetro	Quedan (g)	Pasan (g)	% Queda
5 mm	0,00	501,26	0,00
2 mm	33,72	467,54	6,74
1 mm	455,68	11,86	91,13
0,6 mm	9,48	2,38	1,89
0,4 mm	11,8	0,00	2,36

Ensayo de recepción y conteo de pulsos para el posicionado de los actuadores

La Ecuación 1 representa el número de pulsos de la abonadora frente a la posición del regulador según la escala numerada que incorpora la máquina, arrojándonos un coeficiente de determinación $r^2=0,99$. Esta ecuación se obtuvo mediante regresión lineal, a partir de las 3 repeticiones de las 35 posiciones del actuador ensayadas.

$$y = 18,35x + 23,86 \quad (1)$$

Donde las variables son:

y= valor del contador de pulsos

x= posición del regulador en unidades de la escala graduada que incorpora la abonadora.

Se observó que en cada posición se obtiene el mismo número de pulsos, indicando esto la estabilidad del sistema y que el código desarrollado para la aplicación mantiene el sincronismo de los pulsos al contar. Talha *et al.*, (2012) mostró resultados similares a los obtenidos en este trabajo, con la única diferencia de representar la distancia de apertura del actuador (y) en función de la dosis que sale de la tolva (kg/ha) (x). Conseguida la linealidad deseada para este estudio, se procedió a la calibración de la abonadora.

Ensayo de calibración de la abonadora

La Tabla 2 muestra los valores estadísticos de la masa de abono recogida en función del valor del indicador mecánico y del contador, para las 3 repeticiones realizadas. Conociendo el valor medio de la masa de abono obtenido en cada una de las posiciones y el tiempo que transcurre desde que se da la señal de apertura de la tolva y el cierre (194 s), podemos conocer el caudal de salida de la tolva.

Tabla 2. Valores estadísticos de la masa de fertilizante recogido (kg) en función de la posición del actuador.

Contador	Indic. mec.	Media	Desv. Tipica	Mínimo	Máximo
27	0,1	5,28	0,03	5,24	5,32
41	1	13,23	0,18	13,09	13,43
57	2	25,03	0,14	24,90	25,18
73	3	34,06	1,63	32,27	35,47
89	4	52,72	0,12	52,58	52,81
111	5	75,47	0,03	75,44	75,50
131	6	98,13	0,17	98,02	98,26
153	7	124,95	0,39	124,67	125,22
180	8	162,15	0,83	161,55	162,73
206	9	203,95	0,39	203,67	204,23

La **Figura 3** muestra el caudal obtenido frente al valor del contador con un valor del coeficiente de determinación de 0,997, de lo que se extrae que el ajuste de esta curva a un polinomio de segundo grado resulta bastante adecuado.

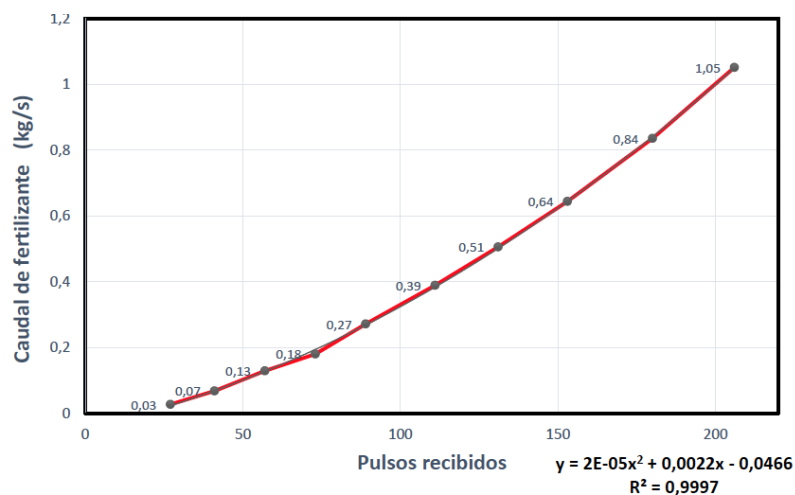


Figura 3. Representación gráfica de caudal obtenido frente al contador de pulsos y polinomio de ajuste.

Para conocer el grado de bondad de estos resultados se compara con las tablas realizadas por el fabricante de la abonadora y que se encuentran en el manual de uso del equipo. Si centramos la comparación en la Urea perlada, evidenciamos empíricamente que salen de la tolva unos 100 g más por segundo de lo indicando por el fabricante. Zhang et al., (2014) en el desarrollo de un sistema de abonado variable a través de sensores, también reporta diferencias de hasta un 5,17% más de fertilizante obtenido respecto a la cantidad pre-programada, con un coeficiente de variación que va desde el 0,35% al 2,67%. Los autores concluyen que, a pesar de este error, el prototipo reúne los requisitos para realizar correctamente un abonado variable.

Ensayo de campo del equipo

Los 2 tipos de ensayos de campo realizados (sin y con aplicación real de abono) mostraron resultados satisfactorios. En el primero, la desviación obtenida entre los valores de caudal másico objetivo y los estimados fueron despreciables aunque se observó un cierto retraso del actuador del módulo izquierdo respecto al derecho, lo cual es achacable al sistema que el programa emplea para gestionar las salidas digitales del equipo EZ-Boom, haciendo que el módulo derecho se actualice antes que el izquierdo. Los ensayos de campo mostraron un tiempo de respuesta de los actuadores para cambiar entre las dosis fijadas de 1,5 s, el cual resulta admisible para este tipo de trabajos.

Conclusiones

- La transformación de una abonadora convencional en un equipo capaz de aplicar un abono de forma variable y automática se ha realizado de forma satisfactoria con un trabajo eficiente. Además, el sistema desarrollado presenta una gran adaptabilidad a otras abonadoras convencionales que cumplan unas características simples, resultando un sistema de automatización universal fácil de utilizar.
- Existen diferencias entre los resultados en la calibración del abono y los datos ofrecidos por el fabricante. Esto pone de manifiesto la conveniencia de realizar ensayos propios con el fin de realizar una buena calibración bajo condiciones reales de trabajo.
- El uso de la plataforma Arduino ha permitido la automatización de los mecanismos necesarios a un precio económico y con muchas posibilidades de futuro.
- El tiempo de respuesta del equipo en aplicación variable es adecuado y está dentro del intervalo obtenido por otros autores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro de las actuaciones y con la financiación del proyecto "Sustainable agriculture in carbon arithmetics (LIFE AGRICARBON)" LIFE08ENV/E/000129.

Bibliografía

- Hu, S. & Mo, X., 2011. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecol. Model.* 222 (14), 2530-2541.
- Ferguson, R., Shcmer, M., Shaver, T., Wienhold, B., et al. 2013. Variable rate irrigation and nitrogen fertilization of maize across landscape positions. 9th European Conference on Precision Agriculture, Lleida, Cataluña (Spain).
- Pérez-Ruiz, M., Carballido, J., Agüera, J., Gil, J.A., 2011. Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. *Precision Agric.* 12, 639-652.
- Talha, Z., 2012. Development of pneumatic system for granular fertilizer flow rate control. Annual Conference of Postgraduate Studies and Scientific Research.

AP07 - Acondicionamiento de señal GPS para aumentar la fiabilidad de un robot vitivinícola

V. Sáiz-Rubio^{1,2}, P. Broseta-Sancho^{1,3}, R.A. Aguilera-Hernández^{1,4}, F. Rovira-Más^{1,5}

¹ Agricultural Robotics Laboratory, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n. 46022-Valencia.

²vesairu@upvnet.upv.es, ³mabrosa2@aaa.upv.es, ⁴ra.aguilerahernandez@ugto.mx, ⁵frovira@dmata.upv.es

Resumen

Los sistemas de navegación por satélite (GNSS) proporcionan información valiosa para el posicionamiento y la navegación de vehículos agrícolas. En los últimos diez años se ha producido un incremento de estos sistemas para aplicaciones de agricultura de precisión que requieren posicionamiento, orientación, e incluso el guiado automático de vehículos. Sin embargo, para garantizar una navegación segura es decisivo tener en cuenta el entorno en el que se va a trabajar, así como estimar y, en la medida de lo posible, corregir los errores que se puedan presentar. Este trabajo propone una solución práctica para acondicionar la señal diferencial libre (sin pago de cuota) mediante la identificación de los errores más importantes que afectan los sistemas GPS y el filtrado o atenuación de errores a través de algoritmos informáticos, con el objetivo de aumentar la fiabilidad de un robot agrícola que genera mapas de cultivo en un entorno vitivinícola. Esta rutina para mejorar el posicionamiento global se basa en un análisis en tiempo real de dos mensajes NMEA (National Marine Electronics Association), de manera que la posición, el tiempo y los índices de calidad de señal se obtienen del análisis de mensajes GGA (GPS Fix Data), mientras que la velocidad real y el rumbo (estados dinámicos) del robot provienen de acondicionar mensajes VTG (Course and ground speed). Al separar la procedencia de la información y aplicar rutinas de filtrado independientes, se minimizan los tiempos de procesamiento y se aumenta la robustez de los algoritmos, que resultan menos complejos y mejor adaptados a las necesidades reales. Pruebas de campo realizadas en 2015 demuestran las ventajas de tratar la señal GPS a través del algoritmo propuesto, haciendo posible su implementación en un robot autónomo, donde el GPS constituye un elemento vital tanto para el sistema de navegación como de confección de mapas de cultivo.

Palabras clave: error GPS, robótica, navegación, agricultura de precisión, filtrado de señal.

GPS signal conditioning to enhance robot localization

Abstract

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) provide valuable information for positioning and navigation of agricultural vehicles. In the last decade, there has been an increase of these navigation systems for precision agriculture applications that require the positioning, attitude, or guidance of farm vehicles. However, to ensure safe navigation, it is crucial to take into account the environment where agricultural vehicles typically work, as well as the type of errors that may occur. This work proposes a practical solution to enhance the free signal acquired by a DGPS (Differential Global Positioning System) receiver through the identification and attenuation of principal error components and software-based filtering of avoidable errors with the final purpose of improving the behavior of a farm robot developed to create crop maps of vineyards. The implemented algorithm is based on the real-time analysis of NMEA (National Marine Electronics Association) strings in such a way that time, position, and quality indicators come from processing GGA (GPS Fix Data) messages, whereas ground speed and heading (dynamic states) are extracted from VTG (Course and ground speed) messages. By separating the source of information and applying different conditioning operations, the processing time diminishes at the same time reliability improves, being both the consequence of reducing complexity and better adjusting the filter to the signal. Field tests conducted in the spring of 2015 showed the advantages of filtering raw GPS data with the algorithm proposed, and the convenience of its implementation in autonomous robots where GPS data plays a key role for both navigation and mapping.

Keywords: GPS errors, robotics, navigation, precision agriculture, signal filtering.

Introduction

The global positioning systems, generally known as GNSS, provide valuable information for positioning and navigation of agricultural vehicles. According to the European Commission, it is estimated that between six and seven per cent of the Gross National Product (GNP) in the European Union depends on GNSS, an amount equivalent to about 800.000 million euro. In particular, there are more than two billion receivers worldwide and this number will exceed six billion in 2022. Even though 95 % of the GNSS market is concentrated on mobile telephony and land vehicles, there exist other applications in important sectors such as agriculture, marine navigation, rail transportation, aviation, energy plants, and scientific projects that require global positioning (Berné Valero *et al.*, 2014). In the last decade, despite the known difficulties and uncertainties of the GNSS systems, there has been an increase of these navigation systems for precision agriculture applications and, as Humphreys *et al.* (2010) announced, GNSS users will demand higher accuracy from them. In line with this thought, there exists a long-standing desire for a universal and robust system for extended agricultural use, as successful technologies in the future will depend on the farmer who will choose only what works (Mitchell, 2011). However, GNSS reliability cannot be continuously granted in general terms, so new ideas are needed to better benefit from GNSS. Although the Real-Time Kinematic (RTK) GPS system is the most accurate solution for GNSS applications (Rovira-Más *et al.*, 2010), where some agricultural applications have reported errors from 2 cm to 8 cm (Noguchi *et al.*, 2002), its use would incur into excessive costs for the average farmer, and therefore lower-cost applications (Guo and Zhang, 2004; Stombaugh and Shearer, 2001) seem more suitable in agricultural contexts. Finding an equilibrium between reliability and cost efficiency is neither simple nor immediate, but there are practical solutions to make these systems more reliable, like endowing farm robots with an optimized architecture to assure redundancy (Sáiz-Rubio *et al.*, 2013; Rovira-Más *et al.*, 2015), or combining GNSS with local perception systems, like cameras, ultrasonic sensors, or laser rangefinders (Wang *et al.*, 2000). The use of differential signals (Differential GPS) in field robotics applications is very helpful because important errors such as satellite ephemeris and clock errors are cancelled; however, *bias* and *drift* errors will still be present (Rovira-Más *et al.*, 2010). Drift errors are caused by continuous signal degradation, whereas bias errors result in random misplacements of global coordinates (Rovira-Más and Banerjee, 2013). Bias errors may only represent a small percentage from the total set of points, but even in this case it is not acceptable for many real applications, and as a result, to ensure safe navigation, it is crucial to detect this kind of errors and discard them. According to Rovira-Más *et al.* (2010), the real-time assessment of localization errors in agricultural fields is vital to assure the acceptable performance of intelligent vehicles operating between crop or tree rows and maneuvering within tolerances of a few centimeters.

The standard NMEA 0183, created by the US National Marine Electronics Association (NMEA), has been universally adopted by GPS manufacturers and practitioners. The particular fields composing each message depend on the specific NMEA identifier used. In agricultural applications, the most common identifiers are GGA (time, position, and fix), and VTG (course and speed) messages (Rovira-Más and Banerjee, 2013). The data from these messages can be filtered to enhance consistency and reliability. In that

sense, Rovira-Más and Banerjee (2013) and Rovira-Más *et al.* (2015) initiated GPS-generated signal conditioning work where GGA and VTG sections are parsed and treated conveniently to improve satellite-based navigation data. This paper proposes a novel practical solution to enhance the free signal acquired by a DGPS receiver through the identification of principal error components and their software-based filtering, with the final purpose of improving the behavior of a farm robot developed to create crop maps of vineyards.

Materials and Methods

Rovira-Más and Banerjee (2013) developed an algorithm to enhance GPS performance and usage. The core functions of their algorithm involved a piece-wise data acquisition system to avoid losing meaningful information, timing checks to control GPS data flow, and string consistency filters to only keep logic measurements. This work was later extended (Rovira-Más *et al.*, 2015) to incorporate dynamic estates for redundancy with GPVTG strings. The algorithm developed in this paper departs from that previous work, and moves beyond to carry out a more exhaustive monitoring and analysis of GPS messages comprising both VTG and GGA strings. The GPS receiver used in this research is the SXBlue L1/L2 (GENEQ inc., Montreal, Quebec, Canada) with a set frequency of 10 Hz. This device comprises the global positioning engine of a robot to autonomously monitor vines and create management maps for wine producers (EU Grant agreement nº 610953). The GPS receiver is powered by a 12-V battery and data are delivered through a RS-232 serial port. For convenience, field tests were conducted with a laptop instead of the robot main processor, and as a result the RS-232 port was converted to a USB through a RS-232 / USB converter cable 1 meter long. Tables 1 and 2 show an example and specifications of GGA and VTG messages with the identifiers used in this work.

The raw data transferred through the serial port at 10 Hz from the receiver was read and processed in real time. The algorithm developed to treat these data was written in C++ with Microsoft Visual Studio 2005 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Each entry was limited to 186 characters at a time, and both strings \$GPGGA and \$GPVTG were searched and isolated. The relative order of the strings was indetermined, and very often strings were captured incomplete. To handle this source of problems, a new customized string was assembled from the data received from the RS-232 port. This artificial string had a fixed configuration: first, an entire GGA message was copied starting with the protocol header (\$GPGGA) until the closing asterisk (*), and right after the asterisk, the VTG message was copied from the header \$GPVTG until the second asterisk. This new string provides robustness because no data fields are missing. Consequently, parsing routines can be safely executed to retrieve key parameters and apply reliability filters. High performance receivers tend to behave more reliably and stably than low-cost devices, but they are not free of external errors such as signal blockage or multipath reflections, so the early detection of corrupted data is essential (Rovira-Más *et al.*, 2015). One of the filters integrated in the algorithm takes into account the number of satellites in the solution. In theory, three satellites suffice to determine the location of a receiver, but uncertainties in the measurement of time require a fourth satellite and, in practice, only solutions obtained from the triangulation of five or more satellites offer enough guaranties for field operations (Rovira-Más and Banerjee, 2013).

Thus, the minimum number of satellites to get reliable data is five. Another embedded filter tracks the horizontal dilution of precision (HDOP parameter). As a rule, the lower the HDOP, the better distribution of satellites above the GPS antenna, commonly ranging between 1 and 3. For this application, however, equation (1) was used to establish the maximum HDOP, based on the practical relationship between number of satellites (*NOS*) and HDOP described in Rovira-Más and Banerjee (2013).

Table 1. Specifications of GGA messages (based on Nosworthy, 2008).

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGGA	-	GGA protocol header
UTC Time	075928.10	-	hhmmss.ss
Latitude	3928.9490265	deg/min	ddmm.mmmmmmm
N/S Indicator	N	-	N = north or S = south
Longitude	00120.6930775	deg/min	dddmm.mmmmmmm
E/W Indicator	W	-	E = east or W = west
Position Fix Indicator	2	-	See Note below
Satellites Used	06	-	No limited range
HDOP	1.6	-	Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude ¹	9.704	meters	m.mmm
Units	M	meters	
Geoid Separation ¹	51.154	meters	mm.mmm
Units	M	meters	
Age of Diff. Corr.		second	Null field when DGPS is not used

¹Values are WGS84 ^{*} ellipsoid heights.

Note: Position Fix Indicator:

Value	Description
0	Fix not available or invalid
1	GPS SPS [*] Mode, fix valid
2	Differential GPS, SPS Mode, fix valid
3	GPS PPS Mode, fix valid

^{*} WGS84: World Geodetic System 1984; SPS: Standard Positioning Service

Table 2. Specifications of VTG messages (based on Nosworthy, 2008).

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPVTG	-	VTG protocol header
Course	312.29	degrees	Measured heading
Reference	T	-	True
Course	312.44	degrees	Measured heading
Reference	M	-	Magnetic ¹
Speed	0.18	knots	Measured horizontal speed
Units	N	knots	
Speed	0.20	km/h	Measured horizontal speed
Units	K	-	Kilometers per hour

¹All "course over ground" data are geodetic WGS84 directions.

$$[HDOP]_{max} = 0.0786 \cdot NOS^2 - 1.5443 \cdot NOS + 8.80; \quad \forall NOS < 11; \quad (1)$$

Two complementary filters regarding altitude and quality were implemented too. Altitude, for instance, was bounded to 2000 meters for common vineyards. Previous field work proved how wild outliers manifested as unexpected jumps in the altitude, therefore unrealistic altitude was utilized as a warning sign. Finally, the parameter quality - Position Fix Indicator (Table 1) - has been introduced as a redundant indicator of consistency; only quality equal to two (Differential GPS) was accepted. The combination of all the filters led to the definition of the variable *Consistency*, which was an indicator of the GPS status. The positioning data was used or saved only when consistency was *true*, and likewise, only with true *Consistency* did the algorithm transform geodetic coordinates (Latitude, Longitude, Altitude) to the LTP (Local Tangent Plane) Cartesian coordinate system expressed as North, East, and Down coordinates (Rovira-Más *et al.*, 2010). Figure 1 provides a block diagram of the proposed algorithm with its main steps and operations for enhancing GPS data.

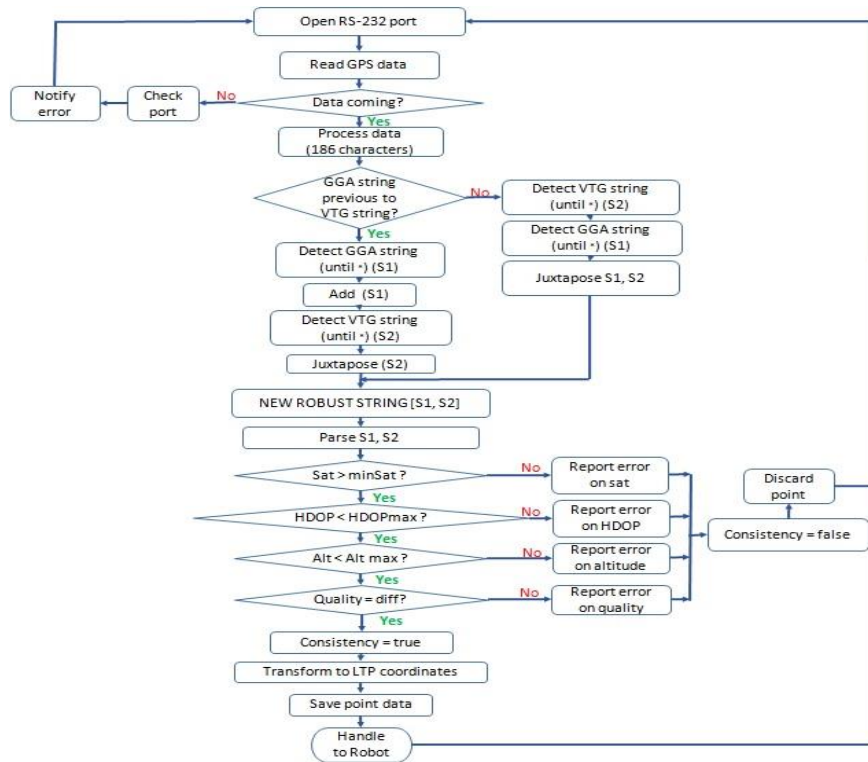


Figure 1. Block diagram of GPS conditioning and filtering algorithm.

Field experiments

Field tests were carried out with the manually operated platform of figure 2. The platform was pushed at similar speeds to the ones expected for the robot. It comprises four wheels and was equipped with a 12-V battery and the GPS receiver. The height of the GPS antenna was 2.50 m. There was a plate to hold the laptop running the algorithm. Table 3 summarizes the most relevant experiments conducted in the field to validate the conditioning algorithm.



Figure 2. Platform for field testing.

Table 3. Experimental design.

Test scenario	Repetitions	Test duration Δt (min)	Parameter evaluated
University garden	1	60	Drift in static test
Rectangle between buildings	5	6.1; 6.2; 5.9; 7.1; 6	Drift and multipath
400-m running track	4	9.1; 9.4; 10.1; 9.3	Stability of heading and velocity

Results and Discussion

Static test

As shown in table 3, the static test was carried out to observe the time-dependent drift when the GPS receiver is not moving and immerse in a constrained environment delimited by trees and buildings. Figure 3 depicts the results of this 1-hour test, where a plot in North-East coordinates shows the position of all the points recorded over the 60 minutes in intervals of 15 minutes. The initial point has been highlighted with a circle. According to the point scattering of figure 3, the drift in the N-S axis estimated in 9 meters (ranging from -66 to -57) is significantly higher than the drift in the E-W axis of 4 meters (from -636 to -632). Table 4 provides the basic statistics for the static test. The error for each point has been calculated as the Euclidean distance between each point and the initial one. The results of the static tests clearly show that the position drift did not depend on time, as in the last 15 minutes the mean error (1.37) was smaller than in other periods and the dispersion estimated with the standard deviation was also inferior to the rest of the periods. The highest mean error (4.53 m) took place in the second period. Although the last period evaluated yielded less number of points, the other three provided a similar sampling population with no dominance in dispersion or error magnitude among them. In order to see the real behavior of the receiver in adverse conditions, the conditioning routines of figure 1 were canceled.

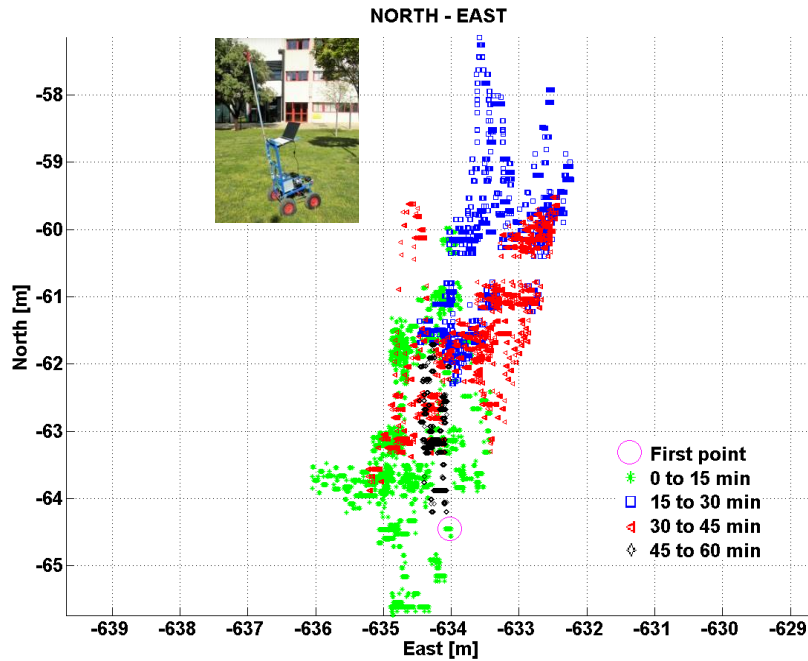


Figure 3. 1-hour static test

Table 4. Basic statistics for static test.

Time	Mean error	Min value	Max value	Standard deviation	Median
0 to 15 min	1.85	0	4.47	1.05	1.45
15 to 30 min	4.53	2.15	7.32	1.12	4.69
30 to 45 min	2.72	1.14	5.18	1.16	2.51
45 to 60 min	1.37	0.25	2.75	0.62	1.30
Whole test	2.66	0	7.32	1.56	2.43

Rectangle between buildings

In order to evaluate drift and multipath errors dynamically, the GPS receiver was tested in a rectangular path surrounded by buildings that limited the quality of the signal reception. Figure 4 shows the five repetitions pursued along the rectangular trajectory. The number of satellites recorded during the loops oscillated from 6 to 12. The upper-left photograph inserted in figure 4 reveals a signal-blocking structure that affected the northern long side of the rectangle. In particular, *signal blockage* and *multipath* errors probably occurred due to this crystal and metal structure. This phenomenon can be clearly observed in the upper-left corner of the rectangle, where none of the five trajectories is actually linear. In addition to multipath errors, *drift* errors are also apparent and can be measured in the plot. The platform was pushed following always the same pathway, so the five trails should be coincident. However, the outcomes show just the opposite; every loop was placed in a different location. A close look reveals a slight translation in the west direction as time progressed. Sharp turns of 90 degrees seem to be accurately represented except in the upper-left corner, which indicates promising results for the behavior of this receiver at the headland turns of vineyards. The analysis of the distance between the four corners of the rectangle indicated that the comparison

between the real distance measured with a tape and the GPS-determined distance deduced from the plot greatly deteriorated with time. Specifically, errors between 0.5 m and 1 m were estimated in the first two rounds, but the third, fourth and fifth round produced errors up to four meters, probably caused by the accumulation of drift and signal blockage. The quantification of these errors was possible because the filtering routines were suppressed in a similar way as the static test.

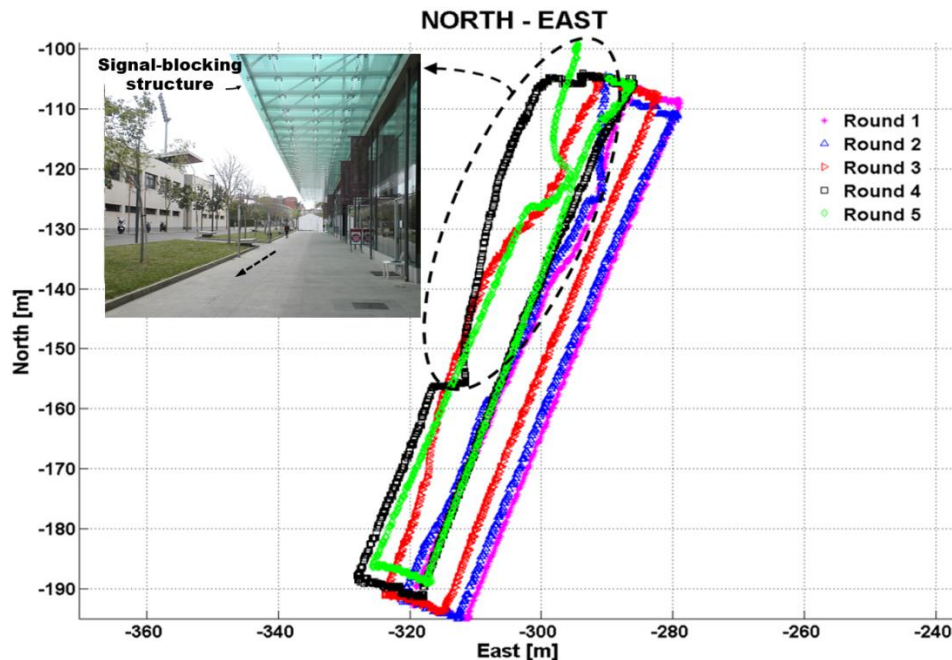


Figure 4. Rectangular trajectory between buildings.

Open-air 400-m running track

Figure 5 shows the trajectory followed by the trolley along a standard 400-m running track. This test lasted 37 minutes and consisted of four loops. As the trolley was guided inside the outer running lane, the total distance travelled was 460 m. In light of the results obtained, it is important to emphasize the absence of outliers, which is a serious drawback of GPS use in agriculture (Rovira-Más and Banerjee, 2013), and the small drift found in the trajectory. However, the east-west drift reported in 2013 is still present in the trajectory, as shown in the southern section of the track, although less severe as depicted in the close-up of figure 5. This test proved that when the quality of the signal is adequate, the negative effect of drift, usually appreciable when the time elapsed is over 15 min (Rovira-Más et al., 2010), was practically negligible. The absence of outliers together with the mild effect of drift confirms the benefits of the conditioning algorithm in open environments such as those found in rural areas.

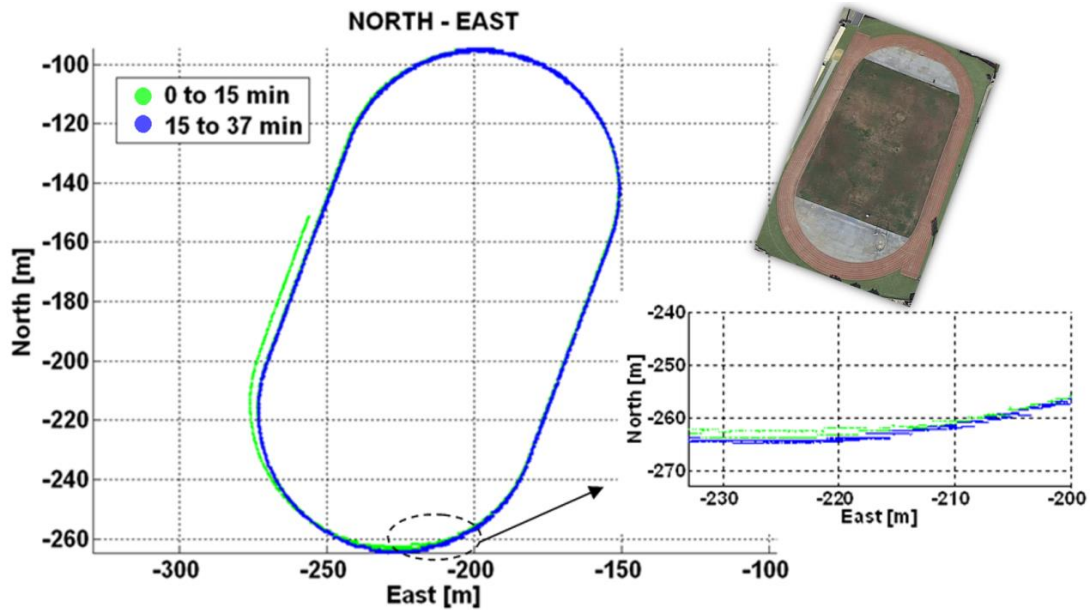


Figure 5. Running track trajectory comprising four loops.

As the path travelled was not surrounded by tall buildings, the number of satellites was always above 7 and the average HDOP value was 0.8, with the highest peak around 1.6. Figure 6 plots these quality indicators for the test, and the maximum HDOP tolerable as determined by equation 1, which yielded a practical reference interval between 1.2 and 3.3. The quality estimates depicted in figure 6 can be considered favorable to obtain precise information from a GPS receiver.

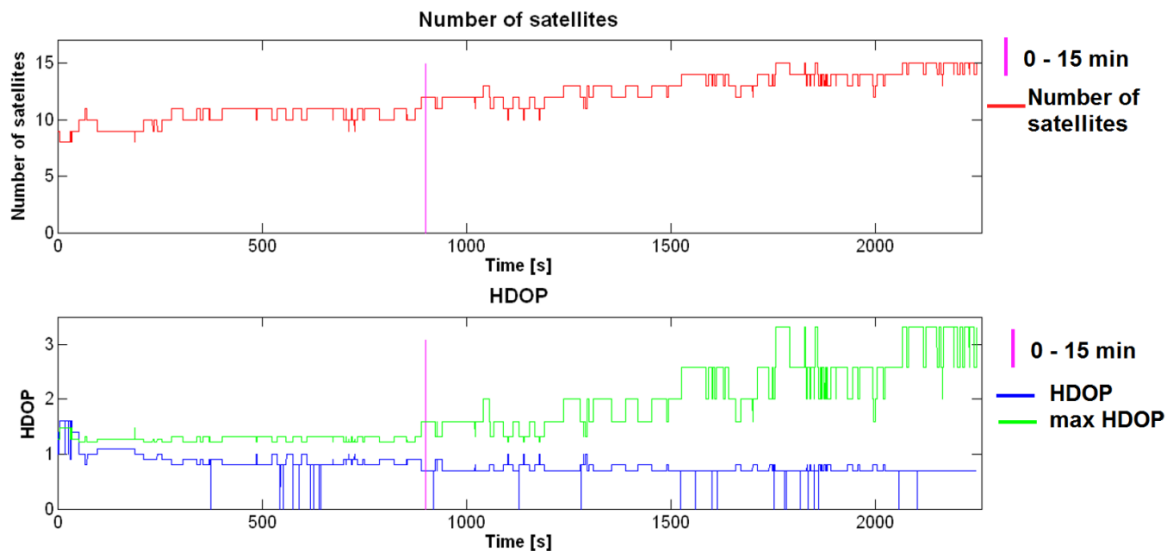


Figure 6. Number of satellites (top); and current and maximum HDOP (bottom) for the standard track test.

Figures 7 and 8 plot the dynamic states velocity and heading. The testing cart was pushed walking down the running track approximately at 3 km/h. The top plot of figure 7 shows the raw estimates read by the receiver. Although the records fit reality quite well, direct outputs resulted too noisy for a practical application. A 4-point moving average (bottom plot) sufficed to smooth out the velocity estimates. The mean velocity kept along the track is now easily read from the filtered plot.

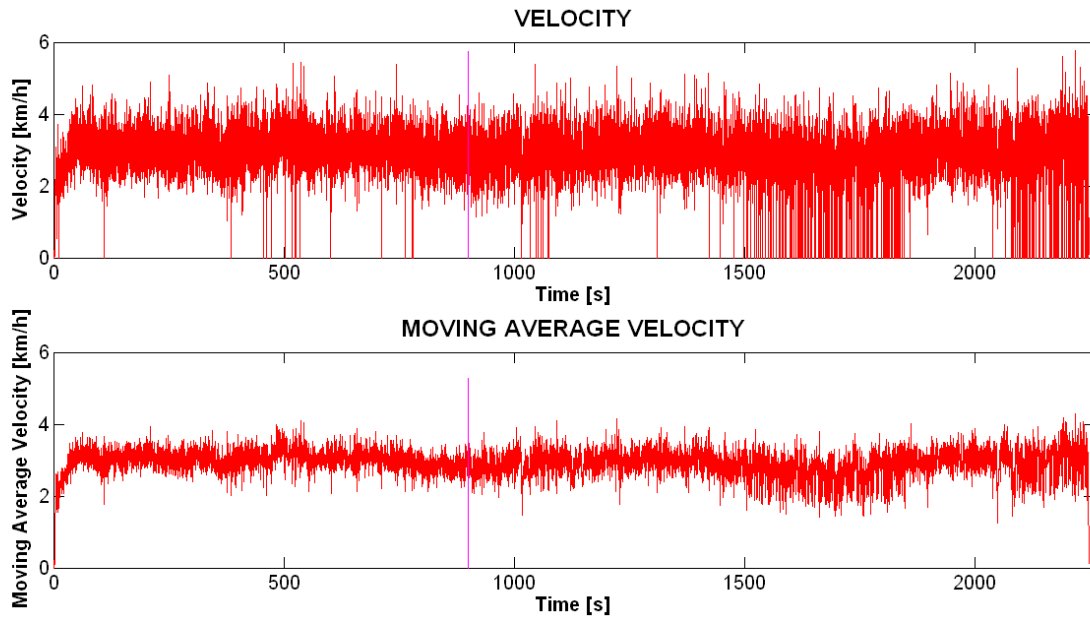


Figure 7. Velocity (above) and moving average velocity (below) in the running track test.

Figure 8 depicts the heading (true course) determined in real time from VTG messages. Although it shows certain noise, the implementation of a moving average in a similar way to the case of velocity will not render acceptable results due to the creation of artifacts. The bottom plot of Figure 8 draws these artifacts when the cart crossed the heading reference line 0° - 360° . As a result, a moving average will help with the velocity estimates but is not recommended for the heading. As for the potential effect of drift on dynamic estates, results show no difference between the readings conducted in the first 15 minutes and the rest, as indicated in both figures 7 and 8 with a vertical line for minute 900.

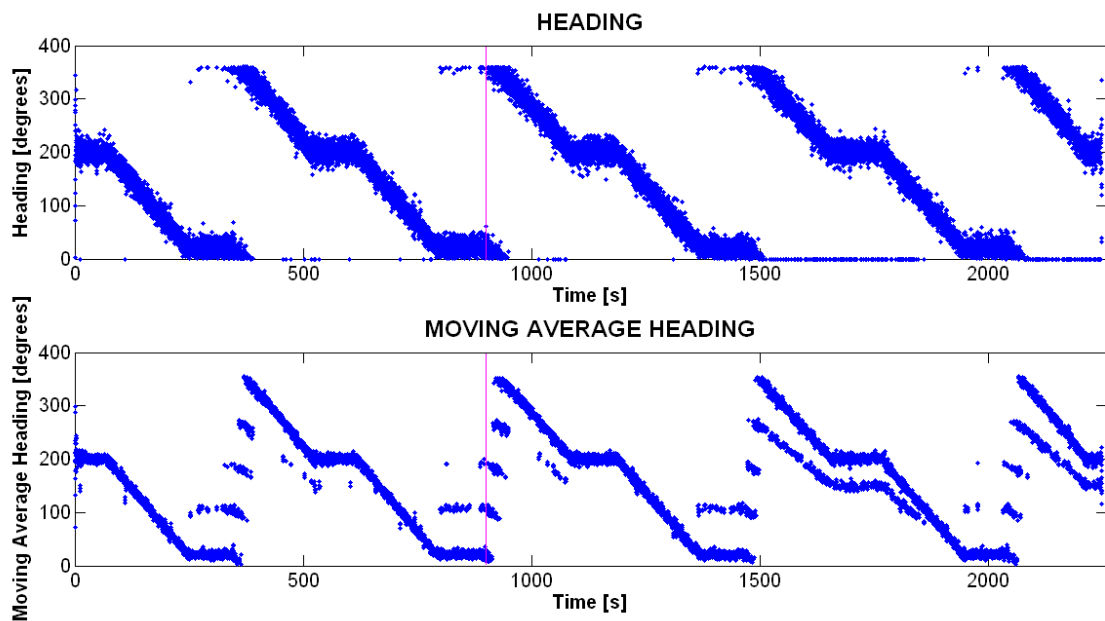


Figure 8. Heading (top) and moving average heading (bottom) for the standard track test.

Conclusions

This work proposes a practical solution to enhance free DGPS signal with a computer algorithm that identifies principal error components and filters them, with the final goal of improving the performance of a farm robot for mapping commercial vineyards. The implemented algorithm is based on the real-time section-wise analysis of the GGA and VTG identifiers that compose NMEA strings. A static accuracy test conducted in a disadvantageous environment characterized by the presence of tall buildings showed that drift was not limited to the first 15 minutes as expected, and point dispersion was random and uneven, with errors of 7 m in the N-S axis and 2 m in the E-W axis. Several loops following a rectangle in such environment triggered the occurrence of severe drift and multipath effects, which evidenced the need of a rigorous signal conditioning before using GNSS-borne data in real applications. A test carried out in an open environment with favorable signal reception showed that the filtering routine proposed was robust to eliminate isolated outliers, reduce the effect of drift, and provide stable dynamic states, although velocity estimates benefitted from applying a moving average filter to reduce the effect of noise. All the field tests were realized at moderate speeds of 3 km/h, but higher speeds are expected to improve the stability of dynamic states. When comparing these results with previous work on the reliability of GPS data for agriculture, progress in terms of stability can be reported as the combined effect of upgrading the working frequency from 5 Hz to 10 Hz, and applying the proposed algorithm to the raw NMEA strings. Long-term stability and constancy at the headland turns still remain to be granted, but the results presented here provide a solution to enhance the use of GNSS in farm robots endowed with certain level of autonomy.

Acknowledgements

The work leading to these results has received funding from the European Union under grant agreement n°610953.

References

- Berné Valero, J. L., Anquela Julián, A. B. and Garrido Villén, N. 2014. *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. Valencia: Universitat Politècnica de València [in Spanish].
- GENEQ inc., July 2004. *SXBlue GPS Reference Manual, version 1.1*, Montreal, Quebec, Canada.
- Guo, L. and Zhang, Q. 2004. *A Low-Cost Navigation System for Autonomous Off-Road Vehicles*. In *Automation Technology for Off-Road Equipment*, Conference Proceedings, 7-8 October 2004 (Kyoto, Japan). Pp. 107-119, eds. Q. Zhang, M. Iida, A. Mizushima. 7 October 2004. ASAE Pub #701P1004 .
- Humphreys, T., Bhatti, J. and Ledvina, B. 2010. The GPS assimilator-upgrading receivers via benign spoofing. *Inside GNSS*, 5(4): 50-58.
- Mitchell, C. 2011. Down home and high tech. *Resource 2011*; 17: Special issue January/February. St. Joseph, MI: ASABE.
- Noguchi, N., Kise, M., Ishii, K. and Terao, H. 2002. *Field Automation Using Robot Tractor*. In *Automation Technology for Off-Road Equipment (ATOE)*. Proceedings of the 26-27 July 2002 Conference (Chicago, Illinois, USA). Pp. 239-245, ed. Qin Zhang, Pub. date 6 July 2002 . ASAE Pub #701P0509.
- Nosworthy, M. A. 2008. GPS tracking and behavior monitoring device with back-end software program service integrations. Patent No. US 20080238768 A1.

- Rovira-Más, F., Zhang, Q. and Hansen, A. 2010. *Mechatronics and Intelligent Systems for Off-road Vehicles*. London, UK: Springer-Verlag.
- Rovira-Más, F. and Banerjee, R. 2013. GPS data conditioning for enhancing reliability of automated off-road vehicles. *Journal of Automobile Engineering*, 227(4): 521-534.
- Rovira-Más, F., Chatterjee, I. and Sáiz-Rubio, V. 2015. The role of GNSS in the navigation strategies of cost-effective agricultural robots. *Computer and Electronics in Agriculture*, 112: 172 - 183.
- Sáiz-Rubio, V., Rovira-Más, F., Chatterjee, I. and Molina-Hidalgo, J. M. 2013. Robust estimation of Ackerman angles for front-axle steered vehicles. *Artificial Intelligence Research*, 2(2): 18-27.
- Stombaugh, T. and Shearer, S. 2001. *DGPS-Based Guidance of High-Speed Application Equipment*. ASAE Annual International Meeting. Sacramento, California, USA. July 30-August 1, 2001. ASAE Pub #011190.
- Wang, L., Emura, T. and Ushiwata, T. 2000. *Automatic Guidance of a Vehicle Based on DGPS and 3D Map*. Proc. of IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems, Dearborn (MI), USA.

*SESIÓN X: AUTOMATIZACIÓN Y
TECNOLOGÍAS EMERGENTES*

AU01 - Sistema de alzamiento automático para arcos de seguridad adelantados en tractores agrícolas

Ojados Gonzalez, D.¹, Martin-Gorriz, B.², Ibarra Berrocal, I.¹, Caro Garcia, F.¹, Morales Sanchez, P.¹ y Miguel Hernandez, B.³

¹ Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica. Universidad Politécnica de Cartagena, Plaza del Hospital s/n, 30202, Cartagena, lola.ojados@upct.es ; isidro.ibarra@sait.upct.es; francisco.caro.garcia@gmail.com; pedromoralessanchez5@gmail.com.

² Dpto. de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena, b.martin@upct.es.

³ Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203, Cartagena, beatriz.miguel@upct.es

Resumen

Los arcos de seguridad abatibles para tractores agrícolas montados en cumplimiento de lo establecido en el R.D. 1215/1997 sobre “condiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo”, si bien cumplen los requisitos establecidos en las disposiciones vigentes, presentan algunas carencias que derivan en una baja, cuando no nula, utilización de los mismos. Esto se traduce, conforme a un reciente estudio realizado en la Región de Murcia sobre los accidentes por vuelco de tractor, en que en el momento del vuelco el arco se encuentra abatido y por tanto no cumple su función protectora. Como respuesta a este problema se ha diseñado y fabricado un sistema para el accionamiento automático de arcos de seguridad adelantados en tractores agrícolas. El dispositivo patentado permite el alzado automático del arco cuando el tractor circula por un terreno en condiciones de riesgo; y además permite el alzado manual del arco a voluntad por el tractorista. El prototipo consta de un sistema de control que en base a la señal recibida de los dispositivos electrónicos, acciona el sistema mecánico de alzamiento del arco de seguridad. Para el alzamiento del arco se ha utilizado parte del circuito hidráulico del tractor, lo que lo hace más económico. Para aumentar la velocidad de alzamiento del arco se ha utilizado un acumulador de presión, que permite además que el circuito esté siempre en carga, aun en el supuesto de que el tractor se pare por cualquier motivo. El tiempo de alzado del arco, en un tractor CASE 2120F, ha sido de 0,734 s. Se estima que el coste del dispositivo comercial será aproximadamente 1500 €. El dispositivo patentado reduce el riesgo de accidentes de tractores agrícolas con arcos abatibles adelantados.

Palabras clave: seguridad de tractores, vuelco, ROPS, GPS, notificación de accidentes.

Automatic deployable system for forward protective structures in agricultural tractors

Abstract

The deployable roll-over protective structure (ROPS) for agricultural tractors, in compliance with R.D. 1215/1997 on "minimum health and safety requirements for the use of work equipment", even if it complies with the requirements established in current legislation, is infrequently or even never in its upright position. According to a recent study carried out in the Region of Murcia regarding accidents by tractor roll-over, at the moment of the roll-over, the ROPS is folded down, so it cannot fulfill its protective purpose. As a response to this problem a system has been designed and built for the automatic deployable system for forward protective structures in agricultural tractors. The patented device automatically raises the ROPS when the tractor is driven on land under conditions of risk; and in addition allows the ROPS to be raised manually by the driver. The prototype has a control system which upon receiving the signal from the electronic devices, pulls up the mechanical system of the ROPS. To raise the ROPS the hydraulic circuit of the tractor has been used, which makes the system more economical. In order to increase the speed of raising the ROPS, a pressure accumulator has been used, which also allows the circuit to be always charged, even if the tractor is switched off for any reason. The pull up time of the ROPS, in a CASE 2120F tractor, was 0.734 s. The estimated cost of the commercial device is

approximately €1500. The patented device reduces the risk of accidents of agricultural tractors with a deployable system for forward protective structures.

Keywords: tractor safety, overturn, ROPS, GPS, emergency notification.

Introducción

Los accidentes por vuelco de tractor son una de las principales causas de muerte en la agricultura. Entre 2004 y 2008 se produjeron 272 accidentes mortales por vuelco de tractor en España, lo que supone un 70% de los accidentes mortales relacionados con el uso de maquinaria agrícola (Arana *et al.*, 2010). En USA, aproximadamente el 50% de los accidentes mortales donde están implicados tractores, estos están relacionados con el vuelco (HOSTA, 2004). En la Región de Murcia, desde el año 2005, el Instituto de Seguridad y Salud Laboral realiza el registro y análisis de este tipo de accidentes en el sector agrario, con el objetivo de conocer el número real de accidentes por vuelco de tractor que se producen en la Región y sus causas. A través del Centro de Coordinación de Emergencias se reciben las comunicaciones de los accidentes, independientemente de que posteriormente sean considerados de trabajo o no, lo que permite disponer de información precisa de lo sucedido en cada caso. En el periodo comprendido entre 2005 y 2012 se produjeron 44 accidentes de vuelco de tractor en la Región de Murcia, en 29 de ellos el conductor falleció. Uno de los datos más relevantes obtenidos del análisis es que en los vuelcos de tractor que disponían de protección mediante arco, en un 76,9% este estaba abatido (Martin Gorriz *et al.*, 2012). En estos casos, aunque se haya puesto a disposición de los trabajadores tractores que cumplen con la normativa del RD 1215/1997, parece necesario que se deben adoptar nuevas medidas que reduzcan los riesgos. En este contexto, los objetivos básicos de este trabajo han sido diseñar y construir, para tractores que disponen de arco de seguridad abatible, un sistema de accionamiento del arco que se active (i) automáticamente cuando el tractor supera un determinado ángulo de inclinación, (ii) a voluntad por el tractorista cuando este percibe que se encuentra en una situación de riesgo de vuelco.

Material y Métodos

El dispositivo de accionamiento automático del arco de seguridad está constituido por dos sistemas: (i) un sistema de control electrónico que actúa sobre un circuito hidráulico, (ii) un sistema hidráulico de accionamiento del arco de seguridad.

Los requerimientos exigidos al sistema de control electrónico han sido:

- Controlar el accionamiento manual del arco.
- Controlar la activación de una alarma acústica, cuando se sobrepasa un primer nivel de pendiente. Valor de pendiente configurable por el técnico.
- Controlar la activación automática del arco, cuando se sobrepasa un segundo nivel de pendiente. Valor de pendiente configurable por el técnico.
- Enviar un SMS con las coordenadas geográficas del tractor, cuando se produzca la activación automática del arco.
- Guardar en memoria todas las actuaciones que se realizan sobre el arco.
- Impedir el rearme del dispositivo cuando se produzca la activación automática del arco. En este caso será necesario actuar sobre la caja de conexiones y reiniciar el sistema.

Los requerimientos exigidos al sistema de accionamiento del arco de seguridad han sido:

- Accionamiento rápido en el caso de activación automática.
- Accionamiento lento en el caso de activación a voluntad por el tractorista.
- Mantener desplegado el arco aunque el tractor se pare.
- Que sea lo más económico posible, lo que favorecerá su implantación.

Sistema electrónico de control

El sistema de control electrónico ha sido diseñado para actuar en dos modos de funcionamiento: (1) accionamiento manual por pulsador (2) accionamiento automático por sensor de inclinación. En el segundo modo de funcionamiento, se han definido dos niveles de señal según el ángulo de inclinación que mide dicho sensor, (2a) en un primer nivel se activa una señal de alarma cuando se sobrepasa un determinado ángulo de inclinación preestablecido y (2b) en un segundo nivel, para un mayor ángulo de inclinación, se activa una señal de accionamiento automático del arco de seguridad, sin apagar la señal de alarma. El valor de los ángulos de inclinación del accionamiento automático son ajustables por software.

El sistema de control utiliza un microcontrolador (ATmega2560) programado en lenguaje C, con una unidad de medición inercial (acelerómetro y giroscopio), una tarjeta de memoria microSD y un módulo GSM/GPS. El software desarrollado permite almacenar un histórico de las actuaciones manuales y automáticas del dispositivo de seguridad.

La unidad de medición inercial PM6050 mide la velocidad, orientación y fuerza gravitacional por medio del uso del acelerómetro y del giroscopio. Para reducir el ruido de la señal y obtener el valor del ángulo de inclinación la señal es filtrada utilizando un filtro Kalman.

En el modo de accionamiento automático, en el caso de que se produzca la activación automática del arco de seguridad cuando se sobrepasa el grado de inclinación establecido, se activa el módulo GSM y se envía al Teléfono de Emergencias un mensaje SMS con las coordenadas geográficas del lugar donde se encuentra el tractor. Esto permite que los Servicios de Urgencia localicen el lugar del accidente de forma inmediata. Además, en este modo de accionamiento, cuando se produce la activación automática del arco no es posible rearmarlo manualmente; es necesario reiniciar el sistema actuando en la caja de conexiones. Esto permite identificar eventos de riesgo, que pueden ser analizados para ver cuál ha sido su causa y las posibles soluciones.

Para el ensayo del sistema de control electrónico se ha utilizado un tractor teledirigido a escala 1:16, en el que se han instalado los componentes electrónicos descritos anteriormente (Figura 1a). El arco abatible se ha construido utilizando el software Solid Works v. 2012 (SolidWorks Corp., Massachusetts, USA) y posteriormente se ha construido en acrilnitrilo butadieno estireno utilizando una impresora 3D (Dimension BST 1200ES). Las dimensiones de arco abatible y de la 'zona libre' han sido calculadas de acuerdo a OECD Code 6 (2012). Este sistema electrónico de control instalado en el tractor a escala se diferencia del dispositivo de seguridad real en el accionamiento del arco, que en este caso se ha utilizado un muelle fijado a la estructura y en el caso real para el accionamiento del circuito hidráulico se han utilizado relés de estado sólido para

activar las electroválvulas. El tractor teledirigido a escala fue ensayó en un circuito diseñado al efecto, con pendientes ascendente y descendente del 15%, donde fue posible provocar el vuelco frontal y lateral (Figura 1b).

Sistema hidráulico de accionamiento del arco de seguridad

El sistema electrónico de control actúa sobre el circuito hidráulico que acciona el arco de seguridad, permitiendo el plegado y desplegado del arco. Dos pistones hidráulicos soldados a la base de la estructura permiten cambiar la posición del arco de seguridad desde la horizontal (reposo-no seguro) hasta la vertical (trabajo-seguro). El circuito hidráulico diseñado para accionar el arco de seguridad que posee el tractor utiliza parte de los elementos del circuito hidráulico del tractor, como la bomba de presión, lo que reduce su coste (Figura 2). Para permitir un rápido accionamiento del arco de seguridad se ha utilizado un acumulador de presión de 1,5 L y 7 MPa (Figura 3). El circuito hidráulico se ha diseñado para que una vez accionado (posición desplegado) se mantenga el circuito en carga, con el objetivo de que en el caso de vuelco y parada del tractor, el arco de seguridad continúe en su posición (Ibarra Berrocal *et al.*, 2014).



Figura 1. (a) tractor a escala 1:16, (b) circuito de ensayo.

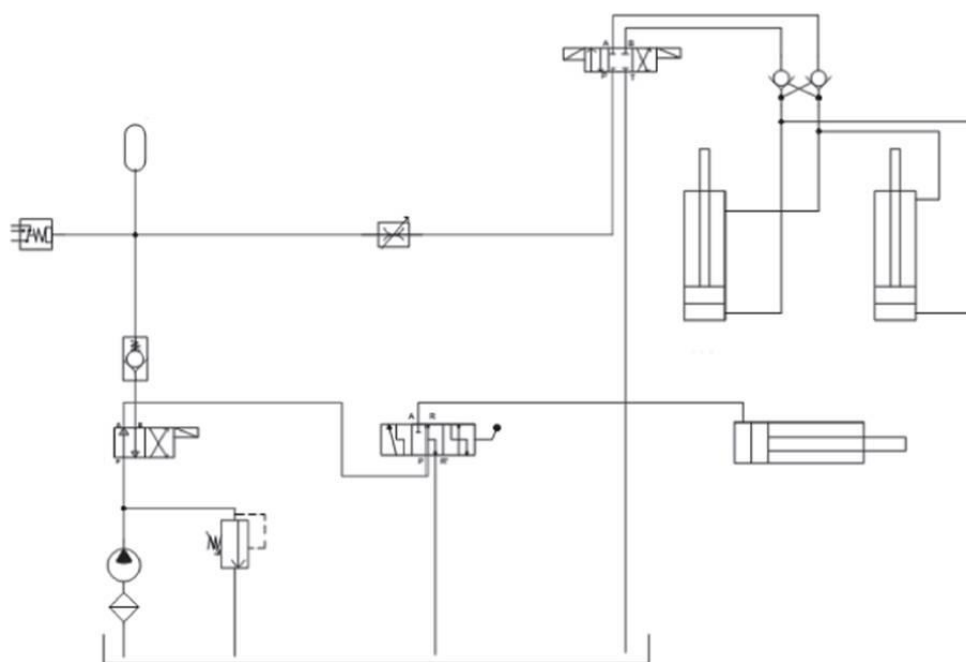


Figura 2. Esquema del circuito hidráulico.

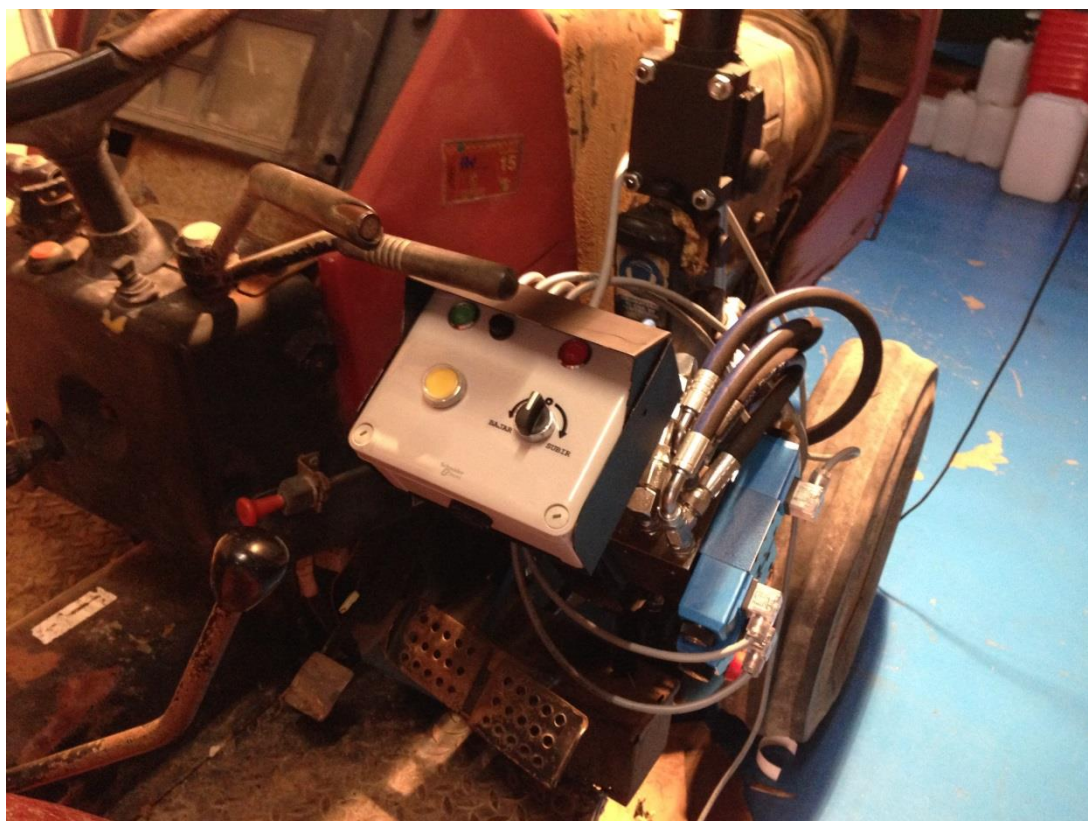


Figura 3. Detalle del sistema hidráulico de accionamiento.

El control del circuito hidráulico se realiza a través del sistema electrónico descrito en el apartado anterior. Existen dos opciones de accionamiento: (1) accionamiento manual del arco de seguridad a baja velocidad, donde el operario utiliza a voluntad un pulsador

situado en el panel de mandos, que es accesible desde el asiento (Figura 3), (2) accionamiento automático del arco de seguridad a alta velocidad, en cuyo caso la señal de accionamiento la envía en sistema de control electrónico cuando se sobrepasa un determinado ángulo de inclinación.

El prototipo de circuito hidráulico ha sido instalado y ensayado en un tractor CASE 2120F (Figura 3). Se ha medido el tiempo de desplegado del arco de seguridad con el acumulador de presión desactivado y activado. Para medir el tiempo se utilizó una cámara de alta velocidad (Faster Imaging Trouble Shooter TSHRMS, Artisan Technology Group, Champaign, IL). Se realizaron dos series de 5 repeticiones en cada una de las opciones, con el tractor a $989 \text{ rev. min}^{-1}$.

Resultados y Discusión

Sistema electrónico de control

Los resultados del ensayo del sistema electrónico realizados con el tractor a escala 1:16 en el circuito se muestran en la Figura 4. Cuando los valores del ángulo de inclinación frontal (línea negra) y/o ángulo lateral (línea azul) superan los 10 grados, el arco de seguridad se despliega automáticamente (línea verde). Para evitar señales positivas falsas se estableció que fueran necesarios al menos 10 valores superiores al valor de activación del arco elegido, que en este ensayo fue de 10 grados.

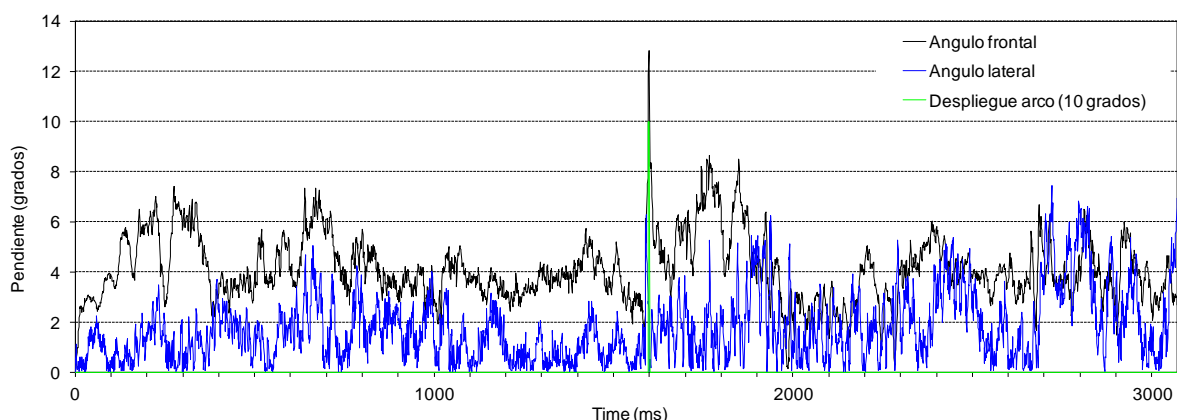


Figura 4. Inclinación lateral, inclinación frontal y la señal de activación del arco.

Sistema hidráulico de accionamiento del arco de seguridad

En la Figura 5 se muestra el tiempo de desplegado del arco de seguridad con el acumulador de presión desactivado y activado. El tiempo de desplegado del arco con el acumulador de presión desactivado fue de 2,575 s mientras que con el acumulador de presión activado fue de 0,733 s. La instalación del acumulador de presión en el circuito hidráulico redujo el tiempo de despliegue del arco en un 72%. Esto justifica la necesidad de incorporar un acumulador de presión en el circuito hidráulico si se desea utilizar este tipo de energía para accionar el arco de seguridad.

El tiempo de desplegado del arco de seguridad tiene que ser menor que el tiempo de vuelco del tractor para que el sistema sea seguro. Este tiempo ha sido medido por otros investigadores en diferentes condiciones experimentales y existe una gran variabilidad

debida a los diversos factores que pueden influir, como las condiciones del terreno, la velocidad de avance del tractor, el tipo de vuelco, el tipo de apero que porta el tractor, etc. Según Ponce de León (2008) el tiempo de vuelco de un tractor varía entre 0,75 y 2,5 s. Hathaway y Kuhar (1994) indican que en un vuelco hacia atrás son necesarios 0,75 s para ir del punto de no retorno al contacto con el suelo. Sililei *et al.* (2008) determinaron que eran necesarios 0,72 s para el vuelco lateral de un tractor circulando a 8,42 km h⁻¹. A la vista de estos datos, nuestro prototipo estaría en el límite de poder garantizar que el arco de seguridad se desplegaría antes de finalizar el vuelco del tractor, por lo que es necesario seguir trabajando en la mejora del prototipo, optimizando el circuito hidráulico para reducir aún más el tiempo de desplegado del arco.

Otros autores han utilizado otros tipo de tecnologías para accionar el arco de seguridad, así Ballesteros *et al.* (2013, 2015) partiendo de una nueva estructura de arco y utilizando dispositivos similares a los instalados para la activación de 'airbags' realizaron el desplegado del arco en 0,312 s y Powers *et al.* (2001) empleando resortes helicoidales en el interior de la estructura del arco de seguridad, extendieron el arco en menos de 0,3 s. Ambos dispositivos conllevan la instalación de un nuevo arco de seguridad, pues los dispositivos que proponen no se adaptan a los arco de seguridad homologados que llevan instalados los tractores; con el consiguiente incremento del coste de instalación y la necesidad de que las nuevas estructuras deban ser previamente homologadas por los organismos competentes en la materia, antes de que puedan ser instaladas en los tractores comerciales. Por otra parte, el rearmado de los sistemas con muelles o aire a presión no es sencillo ni inmediato, aspecto que sí se tuvo en cuenta en el diseño de nuestro dispositivo. Por último, el coste del dispositivo es otro aspecto a tener en cuenta cuando se quiere difundir el sistema y que sea utilizado por los agricultores. En nuestro prototipo la fabricación e instalación de una unidad en el tractor empleado para los ensayos fue de 2000 € aproximadamente, aunque consideramos que podría reducirse su precio en un 25% como mínimo, cuando se fabricase a escala comercial. Además, este tipo de sistemas que mejoran la seguridad de los trabajadores suele tener una ayuda económica por parte de las Administraciones, Públicas, como sucede con el programa para la instalación de arcos de seguridad a tractores que no disponen de los mismos, que realiza el National Institute of Occupational Safety and Health (USA).

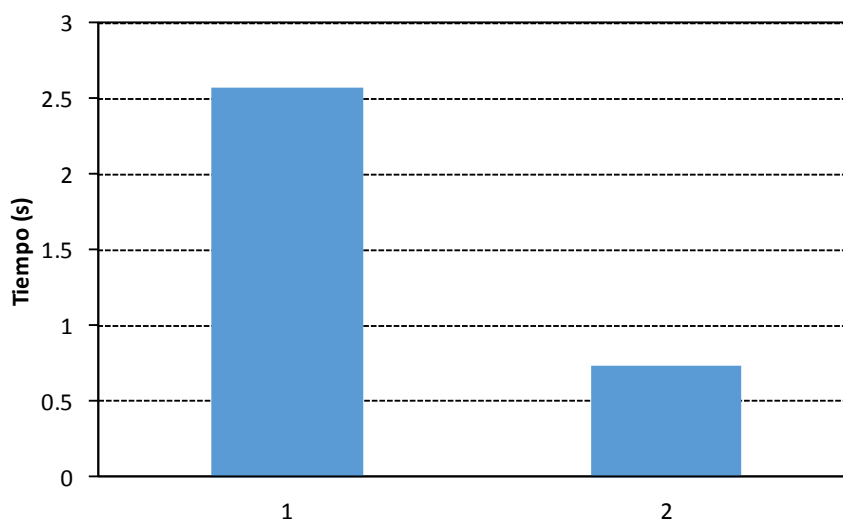


Figura 5. Tiempo de despliegue del arco, (1) sin acumulador de presión, (2) con acumulador de presión. Contraste múltiple de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95,0%.

Conclusiones

Se han cumplido los objetivos planteados en la primera fase del proyecto. Se ha construido un dispositivo de seguridad para el accionamiento automático de un arco de seguridad que reduce el riesgo de accidentes en tractores agrícolas con arco abatible adelantado. Además, este dispositivo permite el accionamiento del arco a voluntad por el tractorista, cuando este percibe que se encuentra en una situación de riesgo de vuelco ó bien va a circular por una vía pública, donde es obligatorio llevar el arco de seguridad desplegado. El accionamiento a voluntad por el tractorista se ha diseñado para que se accione de una forma sencilla y cómoda, ya que el tractorista no tiene que moverse del asiento, por lo que se estima que pueden reducirse las situaciones de riesgos.

La respuesta del sistema de control electrónico ante los cambios de pendiente ha sido satisfactoria, desplegándose el arco antes de finalizarla fase de vuelco. El empleo de la presión hidráulica del tractor para el accionamiento del arco de seguridad presenta la ventaja de la versatilidad en su manejo frente a otros tipos de tecnologías, pero obliga a utilizar un acumulador de presión en el circuito hidráulico para reducir el tiempo de desplegado del arco de seguridad. El tiempo de desplegado del arco de seguridad en un tractor CASE 2120F fue de 0,733 s.

Agradecimientos

Al Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia por la financiación del proyecto “nuevos dispositivos de seguridad en máquinas”.

Bibliografía

- Arana, I., Mangado, J., Arnal, P., Arazuri, S., Alfaro, J.R., Jarén, C., 2010. Evaluation of risk factors in fatal accidents in agriculture. Span. J. Agric. Res. 8 (3), 592-598.
- Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R., 2013. E2D-ROPS: Development and tests of an automatically deployable, in height and width, front-mounted ROPS for narrow-track tractors. Biosyst. Eng. 116 (1), 1–14.
- Ballesteros, T., Arana, I., Pérez, A., Alfaro, J.R. 2015. Development and validation of automatically deployable ROPS based on airbag inflator technology. Biosyst. Eng. 130, 92 -105.
- Hathaway, L., Kuhar, J., 1994. Farm and ranch safety management. Moline, IL: Deere and Company Service Publications.
- HOSTA, 2004. Tractor stability. National safe tractor and machinery operation program. HOSTA Task Sheet 4.12. The Pennsylvania State University, 1-4.
- Ibarra Berrocal, I., Martín Gorrioz, B., Ojados Gonzalez, D., Miguel Hernandez, B., Caro García, F., Morales Sanchez, P., Morente Sánchez, A., 2014. Sistema de protección antivuelco para vehículos agrícolas. Patente nº P201430348.
- Martín Gorrioz, B., Ibarra Berrocal, I., Mínguez Samper, A., Morente Sánchez, A., 2012. Accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia: propuestas para su reducción. Formación de Seguridad Laboral 123, 70-71.
- OECD Code 6, 2012. OECD Standard Code for the official testing of front mounted roll-over protective structures on narrow-track wheeled agricultural and forestry tractors. Paris: Organisation for the Economic Co-operation and Development.

- Ponce de León, J.L., 2008. Estructuras de protección para tractores agrícolas. Homologación y uso. Jornada de seguridad en el uso de los tractores y de la maquinaria agrícola. Lleida, 25 de septiembre de 2008.
- Powers, J.R., Harris, J.R., Etherton, J.R., Snyder, K.A., Ronaghi, M., Newbraugh, B.H., 2001. Performance of an automatically deployable ROPS on ASAE tests. *J. Agric. Safety and Health* 7(1), 51–61.
- Silleli, H., Dayioglu, M.A., Gültekin, A., Saranlı, G., Yıldız, M.A., Akay, E., Ekmekçic, K., 2008. Anchor mechanism to increase the operator clearance zone on narrow-track wheeled agricultural tractors: Static and field upset test results. *Biosyst. Eng.* 99 (2), 196–204.

AU02 - Entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas en imágenes de cultivos agrícolas

Hernández-Hernández, J.L.¹, García-Mateos, G.², González Esquivá, J.M.³, Molina-Martínez, J.M.³

¹ Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero (México), josemanuel.hernandez4@um.es ² Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, Universidad de Murcia, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia (España), ginesgm@um.es ³ Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Murcia (España), [jgonzalez1690, josemiguel.molina.martinez][@gmail.com](mailto:jgonzalez1690)

Resumen

La visión artificial ha demostrado ser muy útil en el dominio de la agricultura, como ayuda en la supervisión y gestión automática de diversos procesos hortícolas. El análisis digital de imágenes permite segmentar, mediante clasificación por color, las plantas y el suelo en imágenes de cultivos. Estos procesos deben resolver condiciones no triviales de captura como las sombras, ruido, saturación de píxeles, escasez de luz, diferentes variedades de cultivos y parámetros intrínsecos de las cámaras. Por ello, estudios previos han demostrado la importancia de seleccionar un espacio de color óptimo para el dominio de aplicación, estando entre los más utilizados los espacios HLS, HSV, YCrCb, YUV, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, l1l2l3 y XYZ. En este trabajo se describe un nuevo proceso automático capaz no solo de entrenar un modelo de color para la segmentación planta/suelo, sino también de seleccionar el espacio de color óptimo para el problema. Partiendo de una selección simple y parcial de regiones de interés en unas pocas imágenes por parte de un experto humano, el sistema analiza y valora todas las alternativas, produciendo los modelos de color en el espacio óptimo. De esta forma se evita la dependencia con el tipo de cultivo, la cámara y las condiciones de captura, puesto que el método se adapta a las condiciones de entrenamiento. La base es la utilización de modelos no paramétricos de las funciones de densidad de probabilidad de color. El sistema entrena y evalúa todas las combinaciones posibles de espacios de color y canales, a partir de la información incompleta disponible. El método propuesto ha sido implementado y validado en una herramienta software, probándose así su viabilidad práctica. Los modelos creados son exportados a un formato establecido, que puede utilizarse en aplicaciones en la nube, móviles y controladores compactos, que se están desarrollando.

Palabras clave: Visión por ordenador, reconocimiento de patrones, espacios de color

Automatic training and selection of color models for plant segmentation in agricultural crop images

Abstract

Computer vision has proven to be very useful in the agricultural domain as a tool for monitoring and automatic management of different horticultural processes. Digital image analysis can be applied to segment plants from soil in crop images by performing color classification. These processes should be able to deal with non-trivial capture conditions such as shadows, noise, pixel saturation, low lighting, different varieties of crops and intrinsic parameters of the cameras. Therefore, previous studies have shown the importance of selecting the optimum color space for the application domain, being among the most used spaces HLS, HSV, YCrCb, YUV, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, l1l2l3 and XYZ. This paper describes a new automatic method capable not only to train a color model for the plant / soil segmentation, but also to select the optimum color space for the problem. Starting from a partial and rough selection of some regions of interest in a few images, provided by a human expert, the system analyses and evaluates all the alternatives, producing color models in the optimum color space. In this way, the dependence on the type of crop, camera and capture conditions is avoided, since the method is adapted to the training conditions. The basis is the use of non-parametric models for the probability density functions of

plant / soil colors. The system trains and evaluates all possible combinations of color spaces and channels from the incomplete information available. The proposed method has been implemented and validated in a software tool, thus proving its practical feasibility. The models created are exported to a defined file format that can be used in applications in the cloud, mobile and compact controllers that are being developed.

Keywords: Computer vision, pattern recognition, color spaces

Introducción y Contexto

En los últimos años, el procesamiento de imágenes y la visión artificial se han mostrado como herramientas muy potentes en el dominio de la agricultura. Cada vez se pueden encontrar más aplicaciones para la supervisión y gestión automática de los procesos hortícolas basadas en imágenes, cuyo objetivo es reducir los costes y aumentar la productividad de los cultivos. Por lo tanto, la visión por computador constituye, junto con otras disciplinas ingenieriles, la denominada agroingeniería.

Uno de los problemas fundamentales que se pueden resolver mediante análisis digital de imágenes es la segmentación de las plantas y el suelo en cultivos, es decir, la detección de los píxeles que pertenecen a vegetación o al fondo (McCarthy et al., 2010). Con el resultado se puede estimar un parámetro fundamental en agronomía como es el porcentaje de cobertura vegetal (PGC, *percentage of green cover*), definido como el porcentaje de suelo cubierto por el dosel vegetal (Fernández-Pacheco et al., 2014). Diversas investigaciones han demostrado la relación existente entre el PGC y variables como el coeficiente de cultivo K_c (Lopez-Urrea et al., 2009; Allen and Pereira, 2009), la altura de la planta (Fernández-Pacheco et al., 2014) y la profundidad radicular (Escarabajal-Henarejos et al., 2015), a partir de los cuales se pueden estimar los requerimientos hídricos.

Por dicho motivo, el problema de la segmentación de cultivos ha sido ampliamente estudiado en investigaciones previas (Lin et al., 2013). Estos procesos deben ser capaces de resolver condiciones no triviales de captura como la aparición de sombras, el ruido de las imágenes, la saturación de píxeles (valores muy claros o muy oscuros), la escasez de luz, las diferencias entre variedades de cultivos y parámetros intrínsecos de las cámaras como el balance de blancos. En la Figura 1 pueden verse algunos ejemplos de estas situaciones problemáticas.

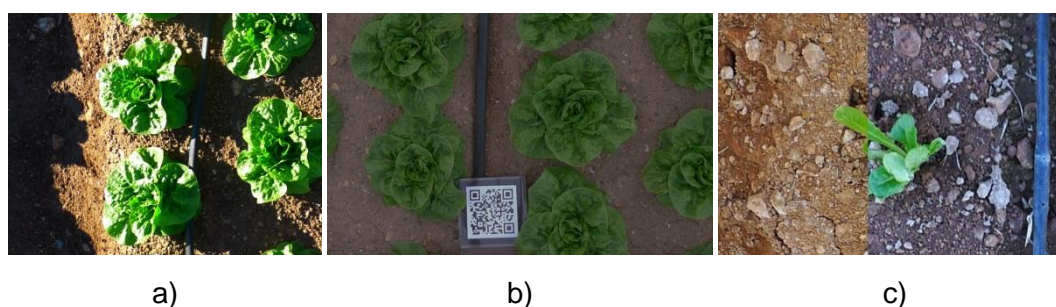


Figura 1. Ejemplos de cultivos de lechuga y diversos problemas en las imágenes. a) Sombras y saturación de píxeles. b) Escases de luz y elementos extraños al cultivo. c) Cambios de tono debido al balance de blancos.

En consecuencia, algunos estudios han demostrado la importancia de seleccionar un espacio de color óptimo para cada dominio de aplicación (Luszczkiewicz-Piatek, 2014). Entre los espacios de color más utilizados podemos encontrar RGB, rgb, HLS, HSV,

YCrCb, YUV, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, I1I2I3 y XYZ. En (García-Mateos et al., 2015) se describe un estudio comparativo de estos modelos de color, aplicados a un problema de clasificación de plantas y suelo en cultivos de lechuga. En dicho artículo se analizaron esos 11 espacios de color, comprobando su efectividad para la clasificación. La conclusión fue que la elección del espacio óptimo es fundamental para conseguir un buen resultado, alcanzando en los mejores casos un acierto del 99,2% usando $L^*a^*b^*$.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un nuevo método para el entrenamiento y la selección automática del modelo de color óptimo para cada problema de interés. De esta manera, no se pretende fijar un único modelo para todos los escenarios posibles, sino que se elegirá el que produzca los mejores resultados para cada situación, en función de los datos proporcionados por el experto. Por lo tanto, es una generalización y ampliación de las investigaciones previas.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma. En primer lugar, dentro de la sección Materiales y Métodos, se expone el método de clasificación por color usando histogramas y se desarrolla el algoritmo propuesto de entrenamiento. A continuación se muestra un ejemplo completo del proceso en Resultados y Discusión. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

Material y Métodos

En este apartado se describe el método propuesto para el entrenamiento del modelo de color y selección del espacio óptimo para la segmentación de suelo y plantas. En primer lugar se identifican los espacios de color que han sido considerados para este estudio. A continuación se detalla el algoritmo de clasificación por color que es la base del sistema. Y, por último, se presenta la técnica novedosa de entrenamiento automático desarrollada.

Espacios de color analizados

Como es bien conocido, el color es una sensación subjetiva del ser humano, derivada de la capacidad de nuestros ojos –en concreto, de los fotorreceptores conocidos como *conos*– de captar luz en diferentes rangos espectrales (Luszczkiewicz-Piatek, 2014). Los distintos *modelos de color* son modelos matemáticos de estas percepciones subjetivas, que describen la forma de representar los colores perceptibles con una tupla de valores. Llamamos *espacio de color* al conjunto de valores que se generan con todas las tuplas posibles de cada modelo. Puesto que los espacios son, en su mayoría, transformaciones no lineales del espacio RGB, la forma en que se distribuyen los colores objetivo son diferentes en cada modelo.

En (García-Mateos et al., 2015) se analizaron 11 espacios de color habituales en visión artificial para un problema de segmentación automática de plantas. Los mejores espacios resultaron ser HLS, HSV, YCrCb, YUV, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, I1I2I3 y XYZ. En consecuencia, estos han sido los espacios seleccionados para el presente trabajo, quedando descartados los espacios RGB y rgb, que producen resultados sensiblemente peores. Aunque también podrían añadirse al proceso, la supresión de ambos espacios tiene como propósito la reducción del tiempo de ejecución del algoritmo de entrenamiento.

Las principales características de los modelos de color seleccionados son las siguientes:

- **HSV, HLS.** Se trata de dos modelos de color estrechamente relacionados. En ambos, el color se descompone en términos fácilmente comprensibles por los humanos. Se utiliza el concepto de matiz de color (H), como el ángulo dentro de la rueda cromática. Además, aparece un canal de saturación o pureza (S) y otro que denota luminosidad (en HSV es Valor, y en HSL es Luminosidad).
- **YCrCb, YUV.** Son también dos modelos relacionados entre sí, y ambos orientados a compresión y transmisión de imágenes. Se basan en la separación de un canal Y de luminancia (o intensidad luminosa), junto con dos canales de crominancia (o tono del color, independiente de su luminosidad). Los canales Cr y Cb corresponden, en esencia, a los canales R y B normalizados en intensidad, respectivamente.
- **L*a*b*, L*u*v*.** Estos modelos fueron creados en 1976 por la CIE (*Commission internationale de l'éclairage*) para su uso en aplicaciones industriales. Como los dos anteriores, también distinguen un canal de luminosidad (en este caso L*) y dos canales de crominancia (a*b* y u*v*), que están definidos con transformaciones no lineales del modelo RGB. El propósito es conseguir representaciones perceptualmente uniformes del color.
- **XYZ.** Se trata también de un modelo definido por la CIE, en este caso en 1931, como una simulación de la respuesta de los tres tipos de conos de la retina humana (aquellos con espectros de absorción en longitudes de ondas altas, medias y bajas).
- **TSL, l1l2l3.** Aunque son dos modelos independientes entre sí, tienen en común que son dos modelos creados con aplicaciones específicas. TSL fue introducido por Terrillon y Akamatsu (2000), para tratar el problema de detección de piel humana. Por su parte, l1l2l3 fue propuesto por Ohta et al. (1980) para problemas de segmentación por color, mediante una decorrelación de los componentes del espacio RGB.

Algoritmo de clasificación por color

El proceso de segmentación automática suelo/plantas por color se basa en una clasificación individual píxel a píxel, que se repite para cada píxel de las imágenes de interés. Aunque este paso no aprovecha la propiedad de vecindad entre píxeles, será en una etapa posterior de postprocesamiento donde se haga uso de ella, mejorando el resultado de la clasificación con operaciones de morfología matemática.

La clasificación de cada píxel es un problema de reconocimiento de patrones, en el que se pueden aplicar los algoritmos clásicos de clasificación binaria. En concreto, los patrones a clasificar son las tuplas que representan el color de un píxel, y que constan de entre 1 y 3 valores según el número de canales seleccionados. Por ejemplo, si se seleccionan los tres canales del modelo XYZ, cada píxel se transforma en una tupla: $color = (x, y, z)$; si se eligen los canales H-V de HSV, entonces el píxel corresponde al par: $color = (h, v)$. En la Figura 2 se puede ver el resultado de varios tipos de clasificadores habituales en visión artificial (Jain et al., 2000), usando los canales H-V en imágenes de plantaciones de lechuga, para la segmentación suelo/planta.

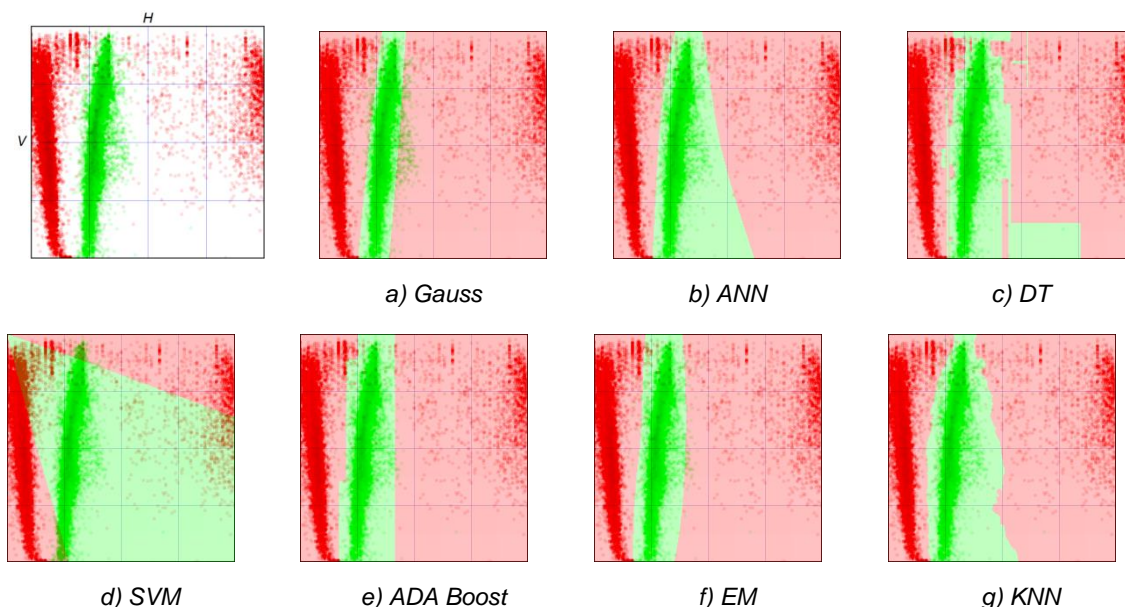


Figura 2. Distribución de colores de planta (en verde) y suelo (en rojo) en los canales H-V del espacio HSV, y fronteras de decisión (color de fondo) usando diferentes tipos de clasificadores (Jain et al., 2000). a) Clasificador probabilístico con gaussianas. b) Redes neuronales (perceptrón multicapa). c) Árboles de decisión. d) Máquinas de vectores de soporte. e) ADA Boost, combinación de clasificadores simples. f) Algoritmo expectación/maximización. g) K-vecinos más próximos.

Se puede observar que cada método produce fronteras de decisión diferentes, más o menos ajustadas a la distribución de los colores objetivo. La aparición de puntos verdes dentro de la zona roja, o viceversa, significaría errores de clasificación. Además, otros aspectos a tener en cuenta son la eficiencia computacional de cada método y la capacidad de adaptarse a distribuciones complejas. Pero la efectividad de la clasificación depende no solo de la técnica de reconocimiento de patrones, sino también del modelo de color utilizado. Algunas de las técnicas mostradas en la Figura 2 que presentan buenos resultados, como el método ANN o EM, tienen problemas en otros modelos de color, con fronteras de decisión no lineales.

Por ello, la clasificación se basará en un método probabilístico, consistente en estimar la probabilidad de que un color concreto sea de una clase o de otra (es decir, planta o suelo). Las funciones de densidad de probabilidad se aproximan mediante histogramas en el modelo de color y con los canales elegidos. Esta técnica tiene varias ventajas: se puede adaptar a distribuciones complejas, se puede entrenar con un número pequeño de ejemplos, y es computacionalmente muy eficiente.

Sea *color* la tupla correspondiente al píxel, podemos definir las probabilidades condicionadas de que sea un píxel del suelo, $P(\text{suelo}|\text{color})$, y de planta, $P(\text{planta}|\text{color})$. Utilizando la regla de Bayes, estas probabilidades se pueden calcular a través de las funciones de densidad de probabilidad, $p_{\text{suelo}}(\text{color})$ y $p_{\text{planta}}(\text{color})$, que indican la distribución de cada clase, con las fórmulas (1) y (2):

$$P(\text{planta}|\text{color}) = \frac{p_{\text{planta}}(\text{color})}{p_{\text{planta}}(\text{color}) + p_{\text{suelo}}(\text{color})} \quad (1)$$

$$P(\text{suelo}|\text{color}) = \frac{p_{\text{suelo}}(\text{color})}{p_{\text{planta}}(\text{color}) + p_{\text{suelo}}(\text{color})} \quad (2)$$

Suponiendo desconocidas –i.e. iguales– las probabilidades a priori de suelo y de planta. Por lo tanto, el píxel dado es asignado a la clase con mayor probabilidad entre $P(planta|color)$ y $P(suelo|color)$. O, lo que es lo mismo, el máximo entre $p_{planta}(color)$ y $p_{suelo}(color)$ para cada píxel de las imágenes. Estas funciones, $p_{planta}(color)$ y $p_{suelo}(color)$, son aproximadas usando el histograma de cada clase para los ejemplos de entrenamiento. Por ejemplo, si se usa el canal a^* de $L^*a^*b^*$, entonces p_{planta} es el histograma de los valores a^* para los ejemplos disponibles de planta, y p_{suelo} para los de suelo. El tamaño del histograma suele ser una potencia de 2, como 16, 32, 64 o 128.

Selección y entrenamiento automático del modelo

Una vez establecida la técnica de clasificación, queda por definir el proceso de obtención de los modelos de color, esto es, los histogramas que estiman las funciones de densidad de probabilidad $p_{planta}(color)$ y $p_{suelo}(color)$. Para optimizar la clasificación posterior, el método también debe ser capaz de seleccionar el mejor espacio de color para cada escenario concreto.

El proceso parte de un conjunto reducido de imágenes de entrenamiento; denominaremos a estas imágenes $I = \{i_1, i_2 \dots i_n\}$, siendo n el número total de imágenes, típicamente entre 4 y 10. Estas imágenes deben estar clasificadas manualmente y de forma somera por un experto humano, seleccionando algunas regiones de suelo y de planta. La selección no debe ser necesariamente completa y exhaustiva, pero sí es conveniente que las imágenes sean lo más variadas posible, mostrando todas las apariencias para el caso de interés.

Sea \mathbf{M} el conjunto de espacios de color, como hemos visto formado por {HLS, HSV, YCrCb, YUV, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, l1l2l3, XYZ}. Sea \mathbf{C} el conjunto de posibles selecciones de tres canales {1, 2, 3, 1-2, 1-3, 2-3, 1-2-3}. Y sea \mathbf{T} el conjunto de tamaños de histograma permitidos {16, 32, 64, 128}. El algoritmo automático de entrenamiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Para cada modelo de color m en \mathbf{M} hacer:
 - 1.1. Convertir las imágenes I del espacio RGB al espacio m .
 - 1.2. Para cada selección de canales c en \mathbf{C} ; para cada tamaño t en \mathbf{T} hacer:
 - 1.2.1. Obtener histogramas p_{planta} y p_{suelo} de canales c y tamaño t , con imágenes $\{i_1, i_3 \dots\}$.
 - 1.2.2. Clasificar las imágenes $\{i_2, i_4 \dots\}$, obteniendo el error de clasificación $error_1$.
 - 1.2.3. Obtener histogramas p_{planta} y p_{suelo} de canales c y tamaño t , con imágenes $\{i_2, i_4 \dots\}$.
 - 1.2.4. Clasificar las imágenes $\{i_1, i_3 \dots\}$, obteniendo el error de clasificación $error_2$.
 - 1.2.5. Calcular el error medio: $error(m, c, t) = (error_1 + error_2)/2$
2. Seleccionar la terna (m, c, t) con mínimo valor: $error(m, c, t)$.
3. Obtener p_{planta} y p_{suelo} , usando modelo m , canales c , tamaño t y todas las imágenes I .

El resultado final de este algoritmo es el modelo de color que produce el mínimo error de clasificación, m , la selección de los canales que mejor funcionan, c , el tamaño óptimo

del histograma, t , y los histogramas en sí para los colores de suelo y de planta, p_{planta} y p_{suelo} , respectivamente. El error está siempre en relación a la clasificación manual indicada por el usuario.

Como se puede ver, el proceso descompone las imágenes de entrenamiento en dos subconjuntos, las imágenes pares y las impares. Para calcular la bondad de cada elección, se entrena con una mitad y se clasifica la otra mitad; después se repite el proceso invirtiendo los subconjuntos y se calcula la media. De esta forma se evita el riesgo de sobreajuste, puesto que siempre se clasifica con imágenes distintas a las de entrenamiento. En otro caso, podríamos obtener modelos que funcionasen bien con las imágenes usadas pero que fallaran con nuevas imágenes obtenidas en condiciones diferentes, es decir, sin capacidad de generalizar.

Una vez hecha la selección óptima, se aprovechan todas las imágenes disponibles **I** para obtener los modelos finales p_{suelo} y p_{planta} . Aunque el método en su conjunto parezca computacionalmente costoso, realmente todos los pasos involucrados son sencillos y fácilmente paralelizables.

Resultados y Discusión

En este apartado se mostrarán los resultados de una aplicación concreta del algoritmo de entrenamiento propuesto. Se trata meramente de un simple ejemplo, puesto que la aportación principal del trabajo es la definición del proceso, que es genérico y aplicable en diferentes escenarios, como la segmentación de frutales o de otros tipos de vegetales.

Partimos de un conjunto de 172 imágenes en color de plantaciones de lechuga (*Lactuca Sativa*), obtenidas en dos cultivos y periodos diferentes en la comarca del Campo de Cartagena (Murcia). Para el experimento se han seleccionado únicamente 6 imágenes de entrenamiento, tres de cada una de las plantaciones. Este conjunto reducido de imágenes, que se muestra en la Figura 3, es la base para crear los modelos de color que luego se aplicarán sobre el resto de imágenes. Las imágenes presentan variedad en cuanto a sombras, tonalidades de color, estado del cultivo, etc.

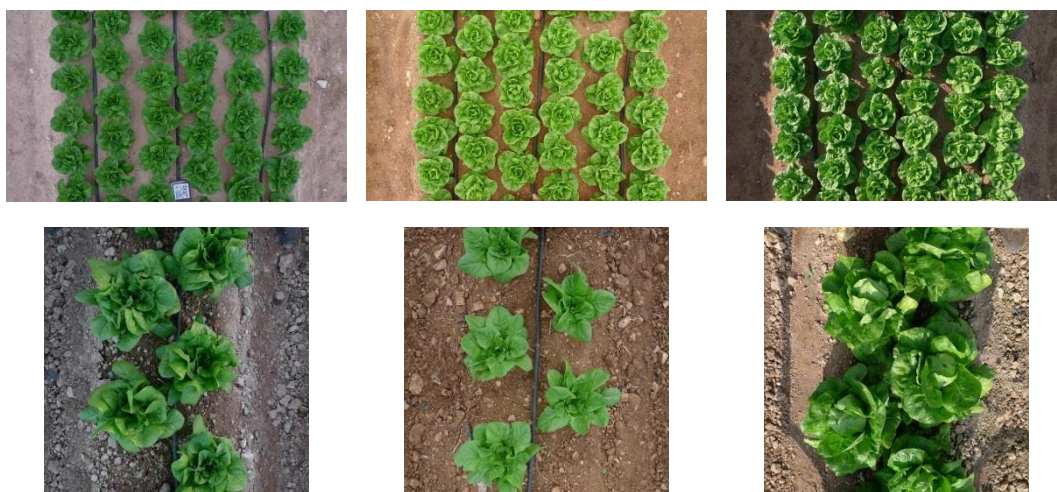


Figura 3. Imágenes de cultivos de lechuga usadas para el entrenamiento. Fila superior: cultivo 1, resolución 3600x2000. Fila inferior: cultivo 2, resolución 1500x1500.

En primer lugar, el usuario humano debe realizar una selección tosca y general de las regiones a clasificar, es decir, zonas de suelo y de vegetación. Esta información experta permite que el sistema conozca y extraiga información de los elementos de interés en las imágenes. Como puede apreciarse en la Figura 4, no es necesario que la selección sea completa y detallada, puesto que el sistema es capaz de generalizar a partir de la información disponible.

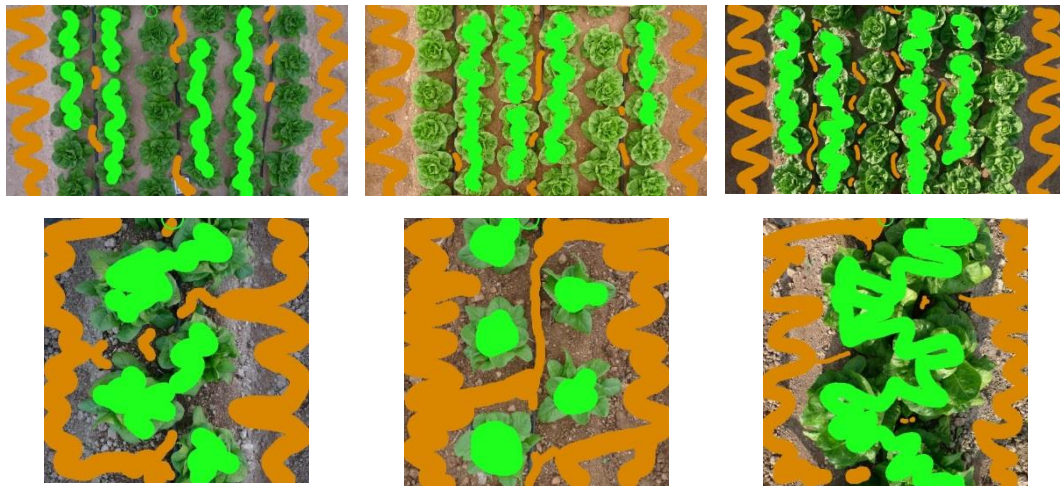


Figura 4. Ejemplo de selección de regiones de suelo y de vegetación realizada por el usuario humano, sobre las imágenes de la Figura 3. En verde: regiones de planta; en marrón: regiones de suelo.

Una vez con esta información, se ejecuta el proceso de selección y entrenamiento automático del modelo de color para la segmentación suelo/planta. Este proceso tardó un tiempo total de 15,08 segundos en un ordenador con procesador Intel(R) Core i7-4720HQ con 4 cores a 2,60GHz, 16Gbytes de RAM y Windows 8. El tamaño t del histograma se ha fijado a 32 celdas, por lo que en total se probaron 63 combinaciones diferentes de espacios de color y canales. Como resultado, la Tabla 1 contiene los modelos que producen menor error de entrenamiento para este ejemplo. En la Figura 5 se pueden ver algunos de estos modelos, los histogramas correspondientes del color de suelo y de planta.

Tabla 1. Errores de clasificación resultantes del proceso de entrenamiento, para las mejores combinaciones de espacios de color y selección de canales.

Puesto	1	2	3	4	5	6
Espacio	L*a*b*	L*a*b*	XYZ	I1I2I3	I1I2I3	HSV
Canales	L*-a*	a*	X-Y	I1-I3	I3	H
Error	0,470%	0,499%	0,501%	0,521%	0,593%	0,618%

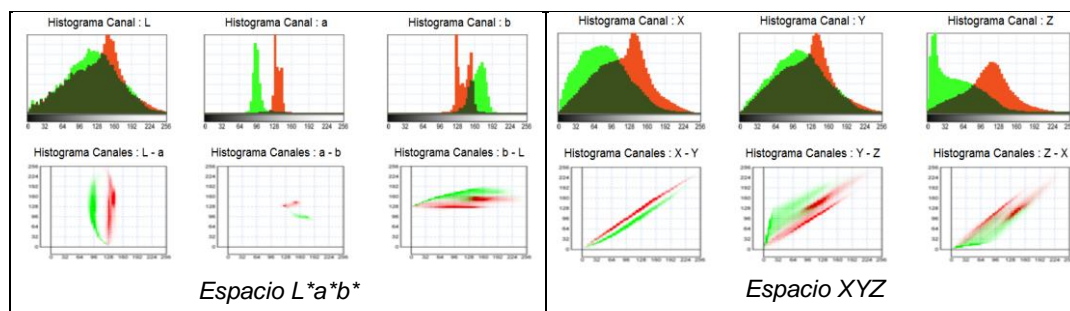


Figura 5. Modelos de color de suelo y de planta resultantes, en los espacios $L^*a^*b^*$ y XYZ.

Finalmente el modelo óptimo, formado por los canales L^*-a^* del espacio $L^*a^*b^*$, ha sido comprobado en 4 imágenes nuevas (no utilizadas durante el entrenamiento), para validar la efectividad de los modelos de color obtenidos. El resultado puede observarse en la Figura 6.

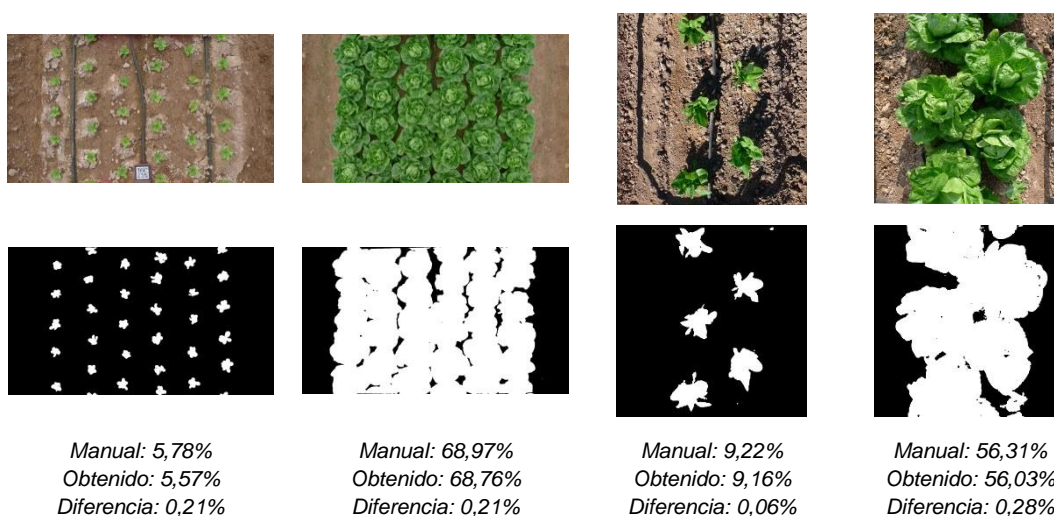


Figura 6. Resultados de la segmentación automática de suelo y plantas con el modelo óptimo, canales L^*-a^* . En la parte inferior se indica el porcentaje de planta obtenido, PGC, con el método manual, con el método propuesto y la diferencia (en valor absoluto) entre ambas medidas.

Para cuantificar los resultados obtenidos, estas imágenes han sido clasificadas completamente de forma manual supervisada. De esta forma, se puede realizar una comparación entre el PGC obtenido con la clasificación manual y el producido por el sistema propuesto, como se muestra en la Figura 6. Se puede observar que, en estos ejemplos, las diferencias entre estas medidas son siempre inferiores a 0,3%. Por otro lado, el tiempo de clasificación en estos casos varía entre los 22 ms para imágenes de 3600x2000 píxeles y 9 ms para imágenes de 1500x1500 píxeles, en el mismo ordenador antes referido. Esto permitiría, aun en el peor caso, un análisis de unas 40 imágenes de alta resolución por segundo.

Conclusiones

La segmentación de plantas y suelo es un problema recurrente en aplicaciones de visión artificial en agronomía. La mayor parte de los métodos existentes se apoya en el uso de información de color, como una propiedad distintiva y fácilmente procesable. Sin embargo, el espacio de color suele fijarse de antemano, sin analizar la posibilidad de usar otros. En el presente trabajo se ha propuesto un nuevo algoritmo para el entrenamiento de modelos de color, que incluye la selección del espacio de color óptimo

para cada escenario concreto. El método consiste esencialmente en una validación cruzada, aplicada sobre las imágenes de entrenamiento, y repetida sobre todas las combinaciones de espacios de color, selección de canales y tamaños de histograma.

El proceso ha sido implementado en una aplicación destinada al usuario final. En los experimentos realizados se ha comprobado la viabilidad y eficiencia de la propuesta. El proceso de entrenamiento, que solo se debe ejecutar una vez al comienzo, tarda en total poco más de 15 segundos. Después, la clasificación de cada una de las imágenes de interés requerirá menos de 25 ms. La diferencia obtenida en el cálculo del PGC, respecto a una clasificación manual, es normalmente inferior a 0,3%, lo cual es una excelente precisión. Es más, los modelos de color obtenidos se pueden exportar fácilmente a un fichero para poder usarlo en otros lugares. Actualmente se están desarrollando aplicaciones para dispositivos móviles y para controladores compactos haciendo uso de estos modelos.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el MINECO español, así como por la Comisión Europea bajo los fondos FEDER, con el proyecto TIN2012-38341-C04-03. También ha sido apoyado por el programa de mejoramiento del profesorado (PROMEP) UAGro-196 de México.

Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* 28, 17–34.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., Fernández-Pacheco, D.G., García-Mateos G., 2015. Methodology for obtaining prediction models of root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agricultural Water Management* 151, 167–173.
- Fernández-Pacheco, D.G., Escarabajal, D., Ruiz-Canales, A., Conesa, J., Molina-Martínez, J.M., 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosystems Engineering* 117, 23–34.
- García-Mateos G., Hernández-Hernández, J.L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaen-Terrones, S., Molina-Martínez, J.M., 2015. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management* 151, 158–166.
- Jain, A.K., Duin, R.P.W., Mao, J., 2000. Statistical pattern recognition: A review. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 22, 4–37.
- Lin, K., Chen, J., Si, H., Junhui, W., 2013. A review on computer vision technologies applied in greenhouse plant stress detection. *Advances in Image and Graphics Technologies* 363, 192–200.
- López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Montoro, A., López-Fuster, P., 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agricultural Water Management* 96, 1031–1036.

- Luszczkiewicz-Piatek, M., 2014. Which color space should be chosen for robust color image retrieval based on mixture modeling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 233, 55–64.
- McCarthy, C.L., Cheryl, N.H., Hancock, S.R., 2010 Applied machine vision of plants - a review with implications for field deployment in automated farming operations. *Intelligent Service Robotics* 3 (4), 209–217.
- Ohta, Y., Kanade, T., Sakai, T., 1980. Color information for region segmentation. *Computer Graphics and Image Processing* 13 (3), 222–241.
- Terrillon, J.C., Akamatsu, S., 2000. Comparative performance of different chrominance spaces for color segmentation and detection of human faces in complex scene images. *International Conf. on Face and Gesture Recognition*, 54–61.

AU03 - Software de clasificación automática de plantas y suelo (CAPS)

Hernández-Hernández, J.L.¹, García-Mateos, G.², González Esquivá, J.M.³, Escarabajal Henarejos, D.³, Molina-Martínez, J.M.³.

¹ Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero (México), joseluis.hernandez4@um.es ² Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, Universidad de Murcia, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia (España), ginesgm@um.es ³ Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Murcia (España), jgonzalez1690@gmail.com, david.escarabajal@gmail.com, josemiguel.molina.martinez@gmail.com

Resumen

El desarrollo de la producción agrícola en el siglo XXI resultaría imposible sin el empleo de las tecnologías de automatización, las cuales tienden a garantizar la máxima productividad, con una alta calidad y con el mínimo gasto en los insumos. Además, se debe establecer un sistema productivo y métodos de organización que aseguren el correcto aprovechamiento de los medios –especialmente del agua–, eleven la eficiencia y permitan su mejor explotación, cuando los costos de operación de los equipos agrícolas son cada vez más altos. Como aplicación de la visión artificial en el dominio de la agricultura, se ha desarrollado el software CAPS (Clasificación automática de planta y suelo). Este programa consta de cuatro grandes módulos: configuración, entrenamiento, clasificación y recorte de imágenes. El propósito último es el análisis de la cobertura vegetal del terreno, con el fin de obtener el parámetro fracción de cobertura PGC (*percentage of green cover*). Para la manipulación de las imágenes se utilizan los espacios de color HLS, HSV, l1i2i3, L*a*b*, L*u*v*, TSL, XYZ, YCrCb y YUV. El módulo de entrenamiento permite la selección del espacio óptimo y la adquisición de los modelos de color de plantas y suelo; a partir de varias imágenes de cultivos, con una selección simple de regiones de interés, se obtienen los modelos que permiten clasificar posteriormente imágenes de otros cultivos dentro del módulo de clasificación. Por su parte, el módulo de recorte sirve para seleccionar la zona de las imágenes bajo estudio; esto permite uniformizar las medidas tomadas de un mismo cultivo en diferentes instantes a lo largo de un periodo de tiempo. El software CAPS ha sido elaborado para uso de profesionales, investigadores, técnicos, especialistas y cualquier persona que trabaje en el área agrícola, partiendo de unos conocimientos mínimos del usuario en el entorno Windows.

Palabras clave: Visión artificial, segmentación vegetal, espacios de color.

A software for automatic classification of plants and soil (CAPS)

Abstract

The development of agricultural production in the 21st century could not be understood without the use of automation technologies, which are designed to ensure maximum productivity, with high quality and at minimum costs on the inputs. Furthermore, the production systems and organizational methods should ensure proper use of the assets –particularly water resources–, raise the efficiency and allow its better exploitation since operating costs of agricultural equipment are increasingly higher. As an application of computer vision in the domain of agriculture, this paper describes a new software called CAPS (automatic classification of plants and soil). This program consists of four main modules: configuration, training, classification, and image cropping. The final purpose is the analysis of the vegetal ground cover, in order to obtain the PGC (percentage of green cover) parameter. For the digital image processing, several color spaces are applied, such as HLS, HSV, l1i2i3, L*a*b*, L*u*v*, TSL, XYZ, YCrCb and YUV. The training module allows the selection of the optimal space and the computation of adequate color models for plants and soil; starting from several crop images with a simple and rough selection of some regions of interest, color models are generated, evaluated and the optimum is selected. This model is then applied to classify images of other crops within the classification module. Meanwhile, the cropping module is used to select the area of the images under study; this allows taking uniform measures of the same crop at different times over a period of time. The CAPS software has been developed to be used by professionals, researchers, technicians, specialists

and anyone working in the agricultural area, requiring a minimum knowledge of the user in the Windows environment.

Keywords: Computer vision, crop segmentation, color spaces.

Introducción y Justificación

La agricultura es la actividad más antigua de la humanidad, que tiene como fin obtener productos de origen vegetal para el consumo humano mediante su cultivo. La forma de cultivo a través de los tiempos ha ido evolucionando; es decir ha tenido cambios con el fin de mejorar y producir más con mayor calidad. En este sentido, el desarrollo de la tecnología de la agricultura de precisión ha dado lugar a nuevos esfuerzos para transferir la tecnología de visión artificial en el sector agrícola. Los investigadores han estudiado las posibilidades de usar cámaras como un sensor local para controlar la maquinaria agrícola en los campos (Jia et al., 1990; Franz et al., 1991).

La evaluación y monitorización de la vegetación de las tierras de cultivo es esencial para diagnosticar y planificar su óptimo aprovechamiento. En particular, el uso sostenible del agua, que es un recurso valioso y cada vez más escaso (Costa et al., 2007), representa uno de los principales retos para el futuro de la agricultura, por lo que es necesario adoptar nuevas herramientas y metodologías que mejoren la eficiencia del uso del agua, manteniendo los niveles de producción (Ortuño et al, 2010).

Para desarrollar un sistema de visión artificial robusto para condiciones de campo al aire libre, los algoritmos deben ser desarrollados para extraer información útil en la presencia de ruido asociado con las condiciones del campo. Uno de los problemas más recurrentes es la segmentación de imágenes, que puede entenderse como una tarea de agregación de píxeles. Uno de los métodos utilizados para la segmentación de imágenes es identificando ciertos rangos de colores para poder identificar el porcentaje de cobertura vegetal (PGC) y el suelo (Ballard y Brown, 1982; Shiraishi y Sumiya, 1996).

La utilización de procesamiento de imágenes digitales en campos de cultivo al aire libre implica dificultades debido a sombras, claridad, días nublados, días lluviosos, etc.; lo que provoca que los colores del cultivo puedan cambiar y que exista cierto error al segmentar las imágenes. Estos cambios pueden dar lugar a imágenes de baja calidad, provocando la segmentación del objeto incompleta o ruido en el área de fondo, lo que termina por degradar los procesos de reconocimiento.

En este trabajo se describe un nuevo software que ha sido desarrollado para automatizar el proceso de segmentación suelo/planta en imágenes de cultivos, con el propósito último de facilitar el cálculo del PGC. Este software tomó como base el estudio sobre comparación de modelos de color para el análisis automático de imágenes en aplicaciones de gestión del riego descrito en (García-Mateos et al., 2015). El programa de clasificación de plantas y suelo (CAPS) ha sido organizado en 4 módulos: configuración, entrenamiento, clasificación y recorte de imágenes, los cuales se describen detalladamente en el apartado de materiales y métodos. El sistema ha sido especialmente cuidado para facilitar su manejo por parte de usuarios no expertos.

En la siguiente sección se describe el uso del software CAPS con fotografías de cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. 'Little Gem') y técnicas de procesamiento de imágenes digitales como herramientas sencillas y novedosas para realizar la segmentación de plantas y suelo. Finalmente, se presentan las conclusiones de esta aportación.

Materiales y Métodos

En esta sección se describe el esquema general de la aplicación desarrollada y las técnicas y algoritmos en los que se sustenta. El software propuesto utiliza fotos de un cultivo y se entrena indicándole en algunas imágenes los lugares donde hay plantas y donde hay suelo. A continuación se ejecuta un proceso automático y se generan modelos base que sirven para procesar posteriormente otras imágenes y determinar el porcentaje de cobertura vegetal (PGC) y de suelo.

Los resultados del software se van a utilizar en el cálculo de las necesidades de riego óptimas del cultivo para el cual se hicieron los cálculos (Escarabajal-Henarejos et al. 2015).

Contexto del sistema de monitorización de cultivos

El esquema general del sistema en el que se enmarca el software CAPS se expone en la Figura 1. Este esquema incluye no solo el programa en sí, sino también el resto de elementos necesarios.

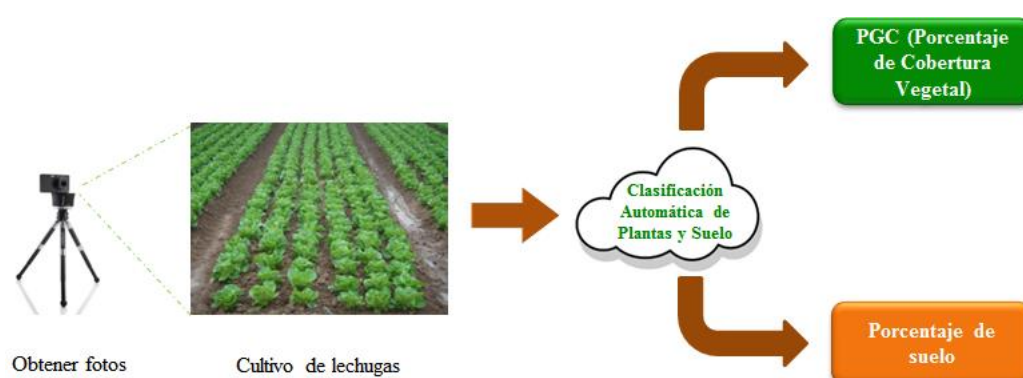


Figura 1. Esquema general del software CAPS.

Técnicas de procesamiento

El análisis requerido para la clasificación de plantas y suelo demanda la utilización de una técnica adecuada de procesamiento de imágenes que permita diferenciar y clasificar plantas/suelo en base a los colores que se encuentren en la imagen. En este sentido, el software desarrollado se sustenta en el uso de histogramas, como una forma no paramétrica de modelar una distribución probabilística de los colores objetivo (García-Mateos et al., 2015).

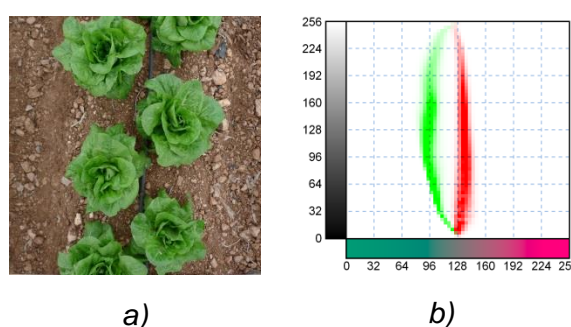


Figura 2. Ejemplo de histograma (b) de los canales L^*-a^* en el espacio de color $L^*a^*b^*$, obtenido de la fotografía de lechugas (a) con un porcentaje de solapamiento entre distribuciones de 0,068%.

En general, un histograma es una representación gráfica de estadísticas de diferentes tipos. La utilidad de los histogramas tiene que ver con la posibilidad de establecer de manera visual, ordenada y fácilmente comprensible todos los datos numéricos estadísticos que pueden tornarse difíciles de entender. Un ejemplo de histograma se muestra en la Figura 2, donde se representa la distribución de los colores de lechugas y de suelo dentro del espacio de color $L^*a^*b^*$.

Un aspecto previo a la clasificación mediante histogramas es determinar la forma de obtenerlos. A este proceso lo denominamos entrenamiento de los modelos de color. Para ello se parte de un conjunto de imágenes, etiquetadas manualmente por el usuario de forma general y somera. El proceso de entrenamiento consta de tres pasos, usando un mecanismo de validación cruzada. El primero utiliza la mitad de las imágenes, el segundo toma la otra mitad y el tercero obtiene la media de los errores de los pasos 1 y 2. Cada uno de ambos pasos consiste en ir calculando los histogramas por cada espacio de color y por cada posible combinación de los 3 canales (1, 2, 3, 1-2, 2-3, 3-1 y 1-2-3), con un número de celdas del histograma previamente definido (8, 16, 32, 64, 128 o 256 celdas). Después se obtiene un error de precisión asociado a cada combinación (consistente en clasificar la otra mitad de imágenes y compararlas con la clasificación manual). En el paso 3, los modelos con el menor error medio son seleccionados para la posterior clasificación automática de imágenes de otros cultivos. Es decir, el resultado del entrenamiento es la selección del espacio de color óptimo, los canales óptimos y los histogramas para el color de planta y de suelo.

Para poder hacer la segmentación y obtener el porcentaje de cobertura vegetal y de suelo, se han considerado varios espacios de color. Cada espacio de color genera distintos grados de solapamiento entre las distribuciones, lo que afecta la eficiencia del reconocimiento. Los espacios de color elegidos para el software, son los más utilizados en aplicaciones de visión artificial (Luszczkiewicz-Piatek, 2014); dichos espacios de color se enumeran a continuación:

- **HLS**. Utiliza Matiz, Saturación y Luminosidad (Hue, Lightness, Saturation).
- **HSV**. Utiliza Matiz, Saturación y Valor (Hue, Saturation, Value).
- **I1I2I3**. Utiliza tres canales I1, I2 e I3, obtenidos mediante combinaciones lineales de RGB.
- **$L^*a^*b^*$** . Utiliza Luz y 2 colores oponentes (Lightness, Colors-opponent).
- **$L^*u^*v^*$** . Utiliza Luminancia y 2 valores de Cromaticidad (Luminance, chromaticity $-u,v$).
- **TSL**. Utiliza Tinte, Saturación y Luminosidad (Tint, Saturation, brightness).
- **XYZ**. Utiliza interpolación de color integrada del RGB (Integrated color interpolation).
- **YCrCb**. Utiliza Luminancia y cromaticidad para vídeo digital (Luminance, chromaticity).
- **YUV**. Utiliza Luminancia (Y) y dos componentes de crominancia (U,V).

Herramientas utilizadas

Para desarrollar el software, se utilizaron las siguientes herramientas.

Para la programación de la aplicación se ha usado el lenguaje C++, que es un lenguaje imperativo orientado a objetos derivado del C, que nació para añadirle cualidades y características nuevas y más potentes. El resultado fue que, como su ancestro, sigue muy ligado al hardware, manteniendo una considerable potencia para programación a bajo nivel, pero se la han añadido elementos que le permiten un estilo de programación con alto nivel de abstracción (Stroustrup, 1986). Por ello, es muy adecuado para aplicaciones de procesamiento de imágenes.

La segunda herramienta utilizada es OpenCV (Open Source Computer Vision) que es una librería de software *open-source* de visión artificial y aprendizaje automático. La librería tiene más de 2500 algoritmos, que incluye problemas de aprendizaje automático y de procesamiento de imágenes para utilizar. Estos algoritmos permiten identificar objetos, caras, clasificar acciones humanas en vídeo, hacer tracking de movimientos de objetos, extraer modelos 3D, encontrar imágenes similares, eliminar ojos rojos, seguir el movimiento de los ojos, reconocer escenarios, etc. (Kaehler y Bradski, 2013).

Por último, la aplicación ha sido creada usando Qt Creator, que es un excelente IDE (entorno de desarrollo integrado) multiplataforma que se ajusta a las necesidades de los desarrolladores. Qt Creator se centra en proporcionar características que ayudan a los programadores a aprender y comenzar a desarrollar proyectos profesionales rápidamente.

Resultados y Discusión

En esta sección se mostrará el aspecto gráfico de la aplicación desarrollada, describiendo también un ejemplo típico de uso del programa. Cuando se realizó el diseño de la interfaz de usuario del software, se trató de buscar que fuera una interfaz limpia, fácil de usar, amigable e intuitiva. Esto sin perder de vista la funcionalidad y la interacción hombre-máquina. Al iniciar la ejecución del software, se abre la pantalla principal mostrada en la Figura 3.



Figura 3. Interfaz de entrada al software CAPS.

Los botones centrales corresponden a los cuatro grandes módulos del sistema. Al igual que cualquier aplicación, con pinchar alguna de las opciones se ejecuta el módulo correspondiente.

Módulo de configuración

Para ajustar y afinar el algoritmo de segmentación de imágenes subyacente, es posible proporcionar unos parámetros al programa, los cuales son necesarios para tener configurada la aplicación y que su funcionamiento sea el adecuado. Estos parámetros

tienen unos valores predeterminados que, en la mayoría de los escenarios, funcionarán correctamente. Los parámetros que se pueden establecer son los siguientes:

- **Morfología.** Es un valor numérico entre 0 y 2 que sirve para aplicar operaciones de morfología matemática de dilatación y erosión, con el fin de eliminar ruido en las imágenes de salida.
- **Reducción de tamaño.** Este parámetro permite aplicar una reducción al tamaño de las imágenes antes de su procesamiento. Se indicará el grado de reducción de la imagen (sin reducción, a la mitad o en una cuarta parte del tamaño original).
- **Tamaño del histograma.** Este valor permite indicar el tamaño de los histogramas que se van a manejar, que puede ser de 8, 16, 32, 64, 128 o 256 elementos.

Como se ha indicado, si por algún motivo no se configura nada, la aplicación establece valores por defecto para su correcto funcionamiento. En la mayoría de los casos, será innecesario cambiar estos valores.

Módulo de entrenamiento de los modelos

El módulo de entrenamiento consta de 2 fases: marcado manual y verificación automática. La primera consiste en seleccionar entre 1 y 10 imágenes, que se deben marcar de forma burda con color verde claro donde hay plantas y con color marrón claro donde hay suelo, para generar una máscara *planta* y una máscara *suelo*. Esto permite que el sistema tenga ejemplos de los colores objetivo. La segunda fase utiliza dichas máscaras y se aplica el entrenamiento automático, como se ha explicado, para un grupo de imágenes por cada espacio de color y por cada combinación de canales para obtener el modelo de color de planta y de suelo, y unas estadísticas de errores de reconocimiento; finalmente se obtiene el espacio de color y la combinación de canales óptimos. Las dos partes de este proceso se muestran de manera gráfica en las Figuras 4 y 5.

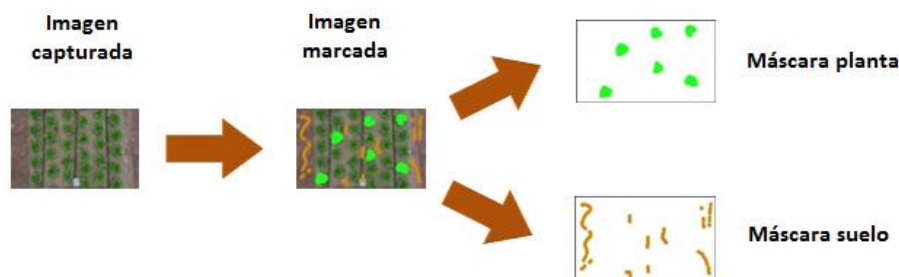


Figura 4. Ejemplo del paso de obtención de la máscara planta y máscara suelo.

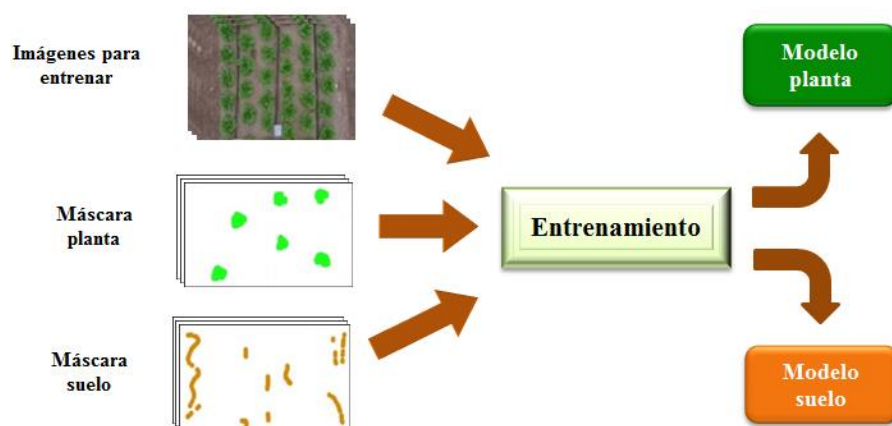


Figura 5. Ejemplo del proceso de entrenamiento automático de los modelos de color.

Al aplicar el entrenamiento, se generan unos errores de clasificación por cada espacio de color y con cada una de las combinaciones de los 3 espacios de color, para los propios ejemplos de entrenamiento. Dichos errores se organizan del menor al mayor y de esta forma se identifican los modelos óptimos de planta y suelo que se almacenan en disco duro y serán utilizados posteriormente para la clasificación de imágenes de otros cultivos semejantes.

Módulo de clasificación suelo/planta

Una vez con los modelos entrenados y los parámetros configurados, el módulo de clasificación es que permite realizar la segmentación suelo/planta, calculando de esta forma el PCG para una imagen o para un conjunto arbitrariamente grande de ellas. Se supone que las imágenes han sido previamente recortadas, como se verá más adelante, para que tengan un tamaño normalizado. En el proceso de clasificación se utilizan los modelos planta y suelo óptimos obtenidos en el módulo de entrenamiento. En la Figura 6 se puede ver un esquema, cuya base es descrita en (García-Mateos et al., 2015).

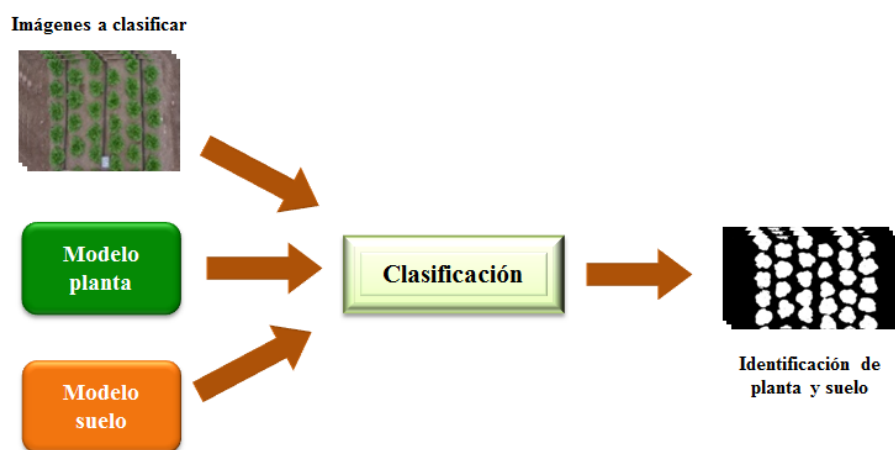


Figura 6. Proceso de clasificación de imágenes de un cultivo.

En consecuencia, el resultado del proceso de clasificación es el mismo grupo de imágenes pero ahora en binario, donde el color blanco indica las plantas encontradas y el negro donde existe suelo. Además se obtienen porcentajes de plantas y de suelo, que pueden almacenarse para monitorizar su evolución a lo largo del tiempo.

Módulo de recorte de las imágenes

Este módulo ofrece la posibilidad de recortar imagen por imagen o bien recortar un grupo grande de ellas. El propósito de este proceso es que todas las imágenes procesadas correspondan a la misma área de terreno. El módulo es muy interactivo, al seleccionar una o varias imágenes se muestra la imagen con una sugerencia de recorte y el usuario simplemente modifica el recorte moviendo con el puntero esquina por esquina de la parte seleccionada para hacer el recorte. Las imágenes se almacenan en la carpeta establecida y quedan preparadas para su procesamiento posterior. En la Figura 7 se muestra la interfaz para realizar el recorte para eliminar el marco de madera.

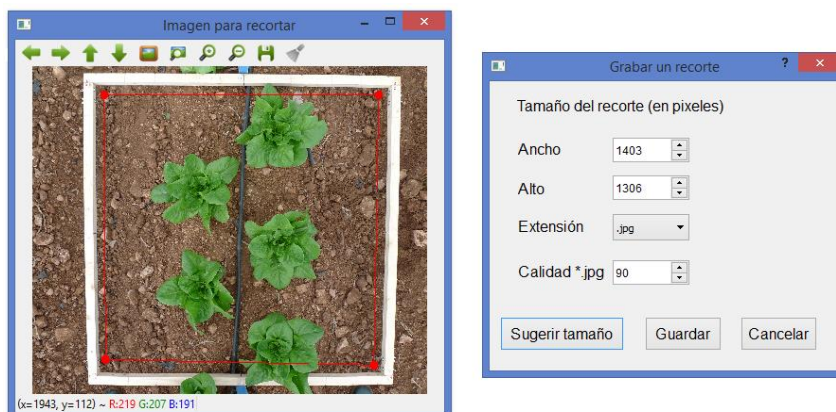


Figura 7. Recorte de una imagen.

Ejemplo de ejecución

Para comprobar el funcionamiento del software, se describe una ejecución típica en la que se muestran los dos módulos más importantes, entrenamiento y clasificación. Para el entrenamiento del software se utilizaron 6 imágenes de un cultivo de lechuga. Se eligieron las imágenes considerando: diversos tamaños de las plantas, variaciones de luz solar, tonalidades de color, plantas con sombra y variación en el brillo que tienen las plantas. Las imágenes utilizadas aparecen en la Figura 8. Las imágenes fueron tomadas con una cámara Nikon Coolpix S3300 a alta resolución, de 3600X2000 píxeles.



Figura 8. Imágenes utilizadas para hacer el entrenamiento en el ejemplo de ejecución.

Sobre estas imágenes se ejecutó en primer lugar el módulo de entrenamiento. Al seleccionarlas en el programa, las imágenes son colocadas en las solapas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 del módulo, tal como se puede ver en la Figura 9.



Figura 9. Una vista del programa con las solapas donde se colocaron las 6 imágenes.

A continuación se marcó con el ratón en cada una de las imágenes, en forma muy burda, algunos lugares donde existían plantas y donde existía suelo. El algoritmo utilizado es capaz de extraer información de color a partir de esta selección sencilla e incompleta, lo que simplifica enormemente el proceso de entrenamiento. Los lugares marcados se utilizan para obtener la máscara *planta* (marcadas con verde claro) y la máscara *suelo* (marcada con marrón). Dicha operación se encuentra en la Figura 10.

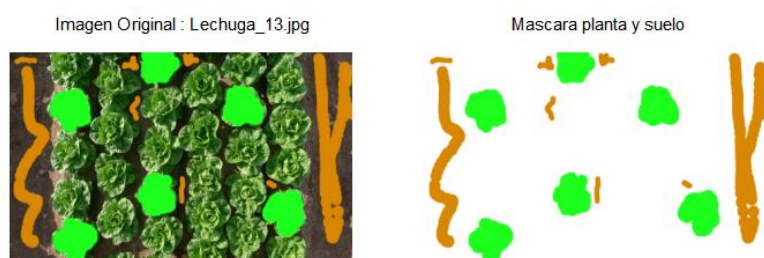


Figura 10. Selección manual de suelo y planta para el entrenamiento. En el lado izquierdo se muestran los lugares marcados como plantas o suelo y en el lado derecho se muestran las máscaras planta y suelo.

Como siguiente paso, se ejecutó el entrenamiento en el cual se toman las 6 imágenes de la Figura 8, una vez marcadas, y se obtienen histogramas acumulados de las mismas por cada combinación de canales (1, 2, 3, 1-2, 2-3, 3-1 y 1-2-3) y por cada uno de los 9 espacios de color utilizados (HLS, HSV, I1I2I3, L*a*b*, L*u*v*, TSL, XYZ, YCrCb y YUV). Por ejemplo, en la Figura 11 se muestran los histogramas obtenidos en el espacio de color L*a*b* y con las combinaciones de todos sus canales. En el ángulo inferior derecho se muestran las cifras de error de clasificación por cada combinación de canales.

Se tomó el tiempo de proceso de entrenamiento y tardó unos 15 segundos en un ordenador con procesador Intel(R) Core i7-4720HQ con 4 cores a 2,60GHz, 16Gbytes de RAM y Windows 8, que es un tiempo muy pequeño para todos los cálculos que se llevan a cabo.

En la parte superior de la Figura 11, se puede ver una solapa “Estadísticas”. En ella se acumulan los errores de clasificación por cada combinación de canales y de espacios de

color, dando un total de 63 cifras de error. Dichos errores se ordenan de menor a mayor para mostrar al usuario cual es el espacio de color y la combinación de canales más óptimos obtenidos en el proceso de entrenamiento. Como resultado, para este caso concreto el óptimo es el espacio $L^*a^*b^*$ con la combinación de canales L^*-a^* , que produce un error estimado del 0,27%. Los modelos de planta y suelo obtenidos se almacenan en un archivo en disco, en un formato definido explícitamente en el programa, para posteriormente utilizarlo en el módulo de clasificación.

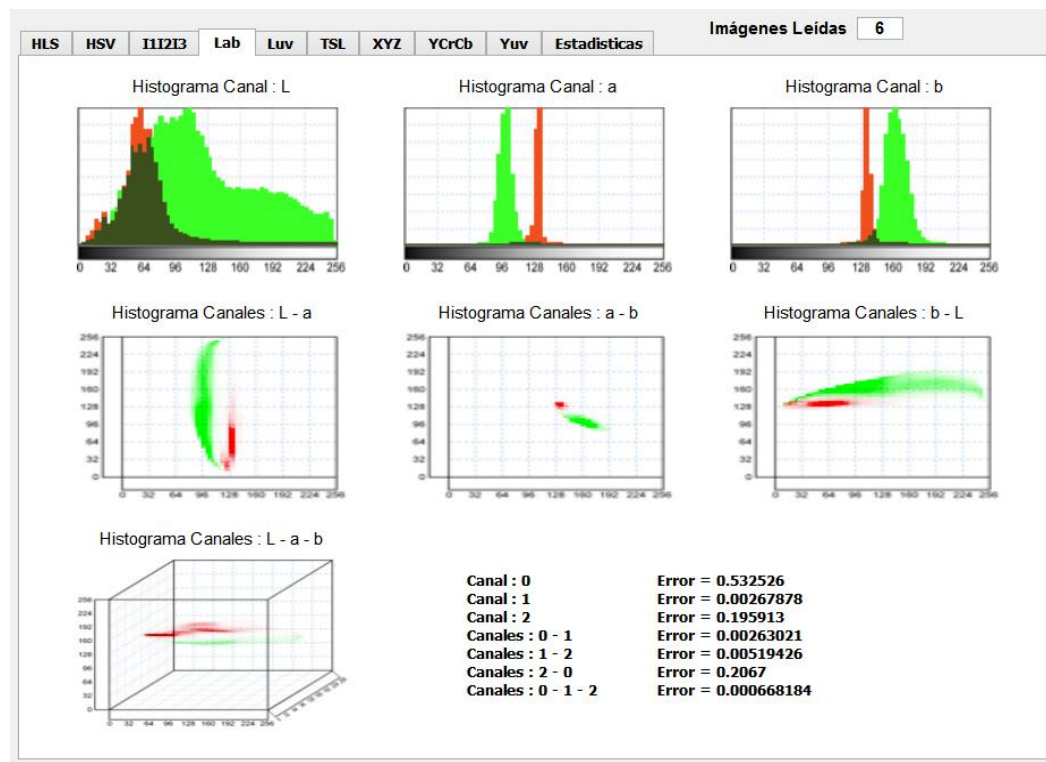


Figura 11. Histogramas obtenidos para el ejemplo de ejecución con el espacio de color $L^*a^*b^*$.

Finalmente, el sistema queda ya preparado para la clasificación de nuevas imágenes. Se ejecutó el módulo de clasificación utilizando el modelo obtenido en el entrenamiento y se aplicó a otras imágenes del cultivo de lechugas. En la Figura 12 se puede apreciar un ejemplo de la clasificación. El tiempo de ejecución para cada imagen no suele sobrepasar los 25 ms, en el ordenador antes referido.

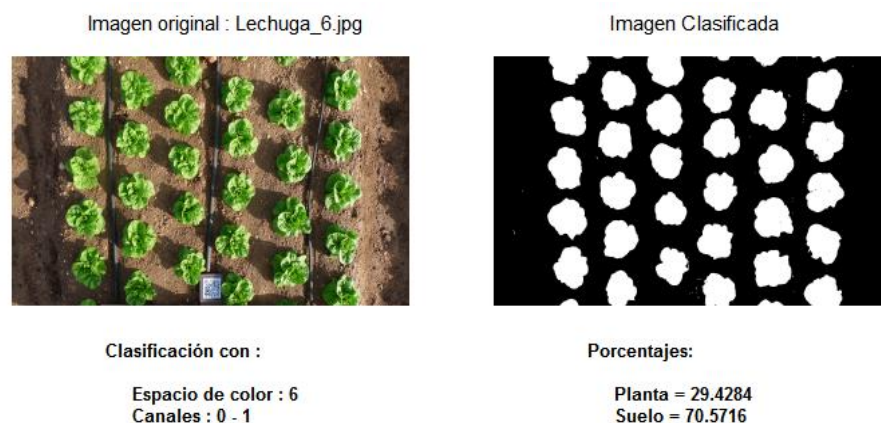


Figura 12. Ejemplo de clasificación de una imagen nueva del cultivo.

Conclusiones

La visión artificial es una herramienta básica en los sistemas actuales de gestión y monitorización de regadíos. Uno de los problemas fundamentales que surgen es la segmentación de las plantas y del suelo, mediante el cual se pueden conocer parámetros relacionados con el cultivo y sus necesidades hídricas. En el presente trabajo se describe una nueva herramienta software capaz de realizar la segmentación suelo/planta de forma automática, utilizando algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes. El proceso parte de un entrenamiento previo del sistema, que solo se necesita hacer una vez para cada escenario que se requiera. Durante este proceso se analizan y comparan las combinaciones de los 9 espacios de color utilizados (HLS, HSV, I1I2I3, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, TSL, XYZ, YCrCb y YUV) y de las 7 combinaciones de canales de cada espacio de color, con el propósito de conseguir la elección óptima para el problema de interés. Dependiendo de las imágenes, típicamente entre los espacios de color más óptimos suelen encontrarse L^*-a^* , a^*-b^* de $L^*a^*b^*$, y u^*v^* de $L^*u^*v^*$.

Una vez entrenado, el sistema queda listo para la clasificación masiva de imágenes de otros cultivos, con una alta fiabilidad y en un tiempo reducido. En las pruebas realizadas se llegó a obtener un 99,5% de precisión, requiriendo la clasificación de cada imagen menos de un cuarto de segundo.

La aplicación desarrollada ha sido cuidada de manera muy especial en el aspecto de la facilidad de uso, la amigabilidad y la apariencia de la interfaz gráfica. Además, a través del entrenamiento, el sistema es flexible y puede aplicarse a la detección por color de otros tipos de objetivos.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el MINECO español, así como por la Comisión Europea bajo los fondos FEDER, con el proyecto TIN2012-38341-C04-03. También ha sido apoyado por el programa de mejoramiento del profesorado (PROMEP) UAGro-196 de México.

Bibliografía

- Ballard, D.H., Brown, C.M., 1982. Computer Vision. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Costa, J.M., Ortuño, M.F., Chaves, M.M., 2007. Deficit irrigation as a strategy to savewater: physiology and potential application to horticulture. *J. Integr. Plant Biol.* 49 (10), 1421–1434.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J.M., Fernández-Pacheco, D.G., Cavas-Martínez, F., García-Mateos G., 2015. Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce. *Agricultural Water Management* 151, 148–157.
- Franz, E., Gebhardt, M.R., Unklesbay, K.B., 1991. Shape description of completely visible and partially occluded leaves for identifying plants in digital images. *Transaction of ASAE* 34 (2), 673–681.
- García-Mateos, G., Hernández-Hernández, J. L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S., & Molina-Martínez, J. M., 2015. Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications. *Agricultural Water Management* 151, 158-166.

- Jia, J., Krutz, G.W., Gibson, H.G., 1990. Corn plant locating by image processing. SPIE Optics in Agriculture 1379, 246–253.
- Kaehler, A., Bradski, G., 2013. Learning OpenCV: Computer vision in C++ with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc.
- Luszczkiewicz-Piatek, M., 2014. Which color space should be chosen for robust color image retrieval based on mixture modeling. Ad. Intel. Systems and Comp. 233, 55-64.
- Ortuño, M. F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D. S., Biel, C., Torrecillas, A., 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. Agricultural Water Management 97(1), 1-11.
- Shiraishi, M., Sumiya, H., 1996. Plant identification from leaves using quasi-sensor fusion. Transactions of the ASME 118, 382–387.
- Stroustrup, B. 1986. The C++ programming language. Addison-Wesley, Reading, MA.

AU04 - Detección de podredumbres en cítricos mediante espectroscopía VIS/NIR y métodos de aprendizaje automático

Lorente, D.¹, Cortés, V.²; Munera-Picazo, S.¹; Escandell-Montero, P.³, Cubero, S.¹;
Aleixos, N.⁴; Talens, P.²; Blasco, J.¹

¹Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Cra. Moncada-Náquera km 5, 46113, Moncada, Valencia (España). Email: delia.lorente.g@gmail.com; {munera_san, blasco_josiva, cubero_ser}@gva.es

²Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España). Email: viccor13@doctor.upv.es; pautalens@tal.upv.es

³Intelligent Data Analysis Laboratory (IDAL), Electronic Engineering Department, Universitat de València. Avda. Universitat s/n, 46100 Burjassot (Valencia), Spain

⁴Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España). Email: naleixos@dig.upv.es

Resumen

La presencia de podredumbres en poscosecha es uno de los principales problemas que afectan a la producción de cítricos. La detección y eliminación de la fruta infectada es una de las mayores preocupaciones de la industria debido a que un número relativamente bajo de frutos infectados puede propagar rápidamente la infección al resto de la producción. La detección de esta enfermedad se ha llevado a cabo manualmente usando luz ultravioleta que induce la fluorescencia visible de las lesiones fúngicas, pero la exposición de las personas a la iluminación ultravioleta es potencialmente peligrosa y es necesario evitarla. Este trabajo estudia la viabilidad de la espectroscopía de reflectancia en el visible e infrarrojo cercano (NIR) como una alternativa no destructiva para la detección automática de cítricos con podredumbre. Se adquirieron espectros de reflectancia de zonas sana y podrida de mandarinas cv. 'Clemenvilla' en la región espectral entre 650 nm y 1700 nm utilizando dos espectrofotómetros. Se utilizaron varios métodos de aprendizaje automático (análisis de componentes principales, análisis factorial y mapeo de Sammon) para transformar los datos de cada espectro en representaciones significativas de dimensionalidad reducida. Estas representaciones de menor dimensionalidad de datos se utilizaron posteriormente como vectores de entrada de un clasificador basado en análisis discriminante lineal para discriminar entre los dos tipos de piel: sana y podrida. Los mejores resultados de detección de frutas con podredumbre se obtuvieron usando un análisis factorial de los espectros NIR, dando una máxima precisión de la clasificación de 97,8%, con porcentajes de clasificación de fruta sana y podrida del 100% y 94,4%, respectivamente. Estos resultados hacen de esta herramienta una prometedora alternativa para detectar esta peligrosa enfermedad mediante técnicas automáticas y no destructivas.

Palabras clave: poscosecha de cítricos; podredumbre; *Penicillium*; control de calidad; inspección automática

Detection of fungal infections on citrus fruit using VIS/NIR reflectance spectroscopy and machine learning methods

Abstract

The presence of post-harvest decay is among the main problems affecting citrus production. Early detection and removal of infected fruit are issues of major concern in commercial packinghouses because a small number of infected fruits can rapidly spread the fungal infection over all the production. Detection of infected fruit has traditionally been carried out manually using ultraviolet light, which induces visible fluorescence of fungal lesions, but long exposure to ultraviolet illumination is potentially harmful for the workers. The feasibility of reflectance spectroscopy in the visible and near infrared (NIR) regions was evaluated as an alternative non destructive method for the automatic detection of early decay in citrus fruit. Reflectance spectra of sound and decaying surface areas of mandarins cv. 'Clemenvilla' were acquired in the spectral region between 650 nm and 1700 nm using two spectrometers. Manifold learning methods were used to transform the

high-dimensional spectral data into meaningful representations of reduced dimensionality containing the essential information. The low-dimensional data representations were used as input feature vectors to discriminate between sound and decaying peel using a supervised classifier based on linear discriminant analysis. The best classification results were achieved using a factor analysis on the NIR spectra, yielding a maximum overall classification accuracy of 97.8%, with a percentage of well-classified sound and decaying samples of 100% and 94.4% respectively, making this tool as a promising alternative to detect this dangerous damage by automated methods.

Keywords: Manifold learning methods; LDA classifier; citrus fruit; decay detection; quality control

Introducción

La presencia de podredumbres causadas por *Penicillium spp* es uno de los problemas más importantes que afectan a la poscosecha de cítricos (Palou et al., 2011). La detección precoz de las infecciones por hongos y la rápida eliminación de la fruta afectada son cuestiones de gran importancia en los almacenes de confección ya que esta es una enfermedad que se puede propagar con rapidez a partir de unos pocos frutos infectados, en especial durante el almacenamiento de la fruta o su transporte. La detección de estas frutas podridas tradicionalmente se ha llevado a cabo por operarios que inspeccionan la fruta utilizando luz ultravioleta (UV), que induce fluorescencia visible en las lesiones por podredumbre (Kondo et al., 2009). Este método, sin embargo, es potencialmente dañino para los trabajadores, pues una larga exposición a la iluminación UV puede causar importantes daños a la piel (Lopes et al., 2010). En la actualidad, con el fin de automatizar la inspección y detección de esta fruta, se están investigando alternativas tecnológicas a esta inspección visual basadas en visión artificial, incluyendo sistemas de visión basados en fluorescencia inducida por UV (Kurita et al., 2009), sistemas de visión hiperespectral y multiespectral (Gómez et al., 2007 ; Gómez-Sanchis et al, 2012; Gómez-Sanchis et al, 2013; Lorente et al, 2013a; 2013b) o basados en la retrodispersión de la luz (Lorente et al, 2013c, 2015). En este sentido, la espectroscopía también aparece como una alternativa prometedora para la detección de podredumbres en los cítricos, ya que esta tecnología permite medir rápidamente algunas propiedades ópticas de las muestras que están relacionadas con sus propiedades químicas y texturales (Khanmohammadi et al., 2014). En consecuencia, se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar la calidad de diferentes frutas frescas mediante medidas de reflectancia adquiridas con sistemas de espectroscopia VIS/NIR (Jha et al., 2014; Wang et al., 2014; Wang y Xie, 2014). La mayoría de estos trabajos aplicados a los cítricos se han centrado en la evaluación de atributos de calidad interna, como el contenido de sólidos solubles (SSC), el pH o el contenido de vitamina C (Gómez et al., 2006; Xia et al., 2007; Cayuela, 2008; Kohn et al., 2011). Sin embargo, no se han encontrado muchos trabajos dedicados a evaluar la calidad externa de los cítricos, como la presencia de daños en la piel (Zheng et al., 2010).

Uno de los principales problemas de la espectroscopía es el gran volumen de datos que genera, por lo que se hace necesario reducir la dimensionalidad de los datos para extraer la información esencial sobre los atributos de calidad contenidos en los espectros (Garrido-Novell et al., 2012). De otra forma, la presencia de variables espectrales irrelevantes podría dar lugar a peores predicciones de la calidad de la fruta. Generalmente, la dimensionalidad del espacio espectral se puede reducir mediante métodos de selección, que se caracterizan por seleccionar de forma directa un subconjunto de las características originales, o técnicas de extracción de características,

conocidas como *manifolds*, que realizan una transformación de los datos, de manera que la nueva representación permita una aproximación al problema empleando una dimensión menor que la original. Algunos de estos métodos, como el análisis de componentes principales (PCA), que define una rotación de los datos respecto a su centroide de forma que el nuevo sistema de coordenadas coincida con las direcciones de máxima varianza, se han utilizado para reducir la dimensionalidad de los datos en problemas de aplicación de la espectroscopía a la inspección de calidad de fruta (Xie *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010).

Este trabajo evalúa el potencial de la espectroscopía de reflectancia en las regiones visible y NIR como herramienta para detectar de forma automática lesiones de podredumbre en cítricos durante el control de calidad en poscosecha.

Material y Métodos

Material vegetal

Para los experimentos se utilizaron Mandarinas cv. 'Clemenvilla' (*Citrus reticulata* Hort. Ex Tanaka) cosechadas en la campaña de 2012 de la colección de campos del Banco de Germoplasma de Cítricos en el IVIA (España) (Navarro *et al.*, 2002). Se utilizaron un total de 117 mandarinas de las que 67 se inocularon con esporas del hongo *P. digitatum* y las 50 restantes se inocularon con agua esterilizada para control. Para inocular el hongo se utilizó una concentración de 10^6 esporas/ml, suficiente para producir infestación en condiciones de laboratorio (Palou *et al.*, 2001). Las frutas se inocularon en la zona ecuatorial mediante la punción de una varilla de acero inoxidable de 1 mm de diámetro y 2 mm de profundidad, mojada previamente en la suspensión de esporas. Tras la inoculación, la fruta se mantuvo en un ambiente controlado a 24 °C y una humedad relativa del 24% hasta que las lesiones causadas por el hongo tuvieron un diámetro igual o superior a 10 mm en todas las frutas infectadas. En el momento de las mediciones todas las frutas presentaban lesiones por podredumbre en sus primeros estadios (antes de la esporulación) con un diámetro variable entre 10 y 40 mm.

Las frutas de control inoculadas con agua se utilizaron para evaluar la influencia de los cambios físicos de la piel debidos al procedimiento de inoculación en las medidas de los espectros. Para ello, además, las frutas de control se midieron en dos zonas, la zona cercana a la punción hecha al inocular la fruta y otra intacta en el lado opuesto de la mandarina. Por lo tanto, se analizaron un total de 167 muestras de piel: 100 muestras de piel sana (50 de piel intacta y 50 inoculada con agua) y 67 muestras de piel infectada. La figura 1 muestra sendos ejemplos de una fruta inoculada con agua esterilizada y otra inoculada con *P. digitatum*.

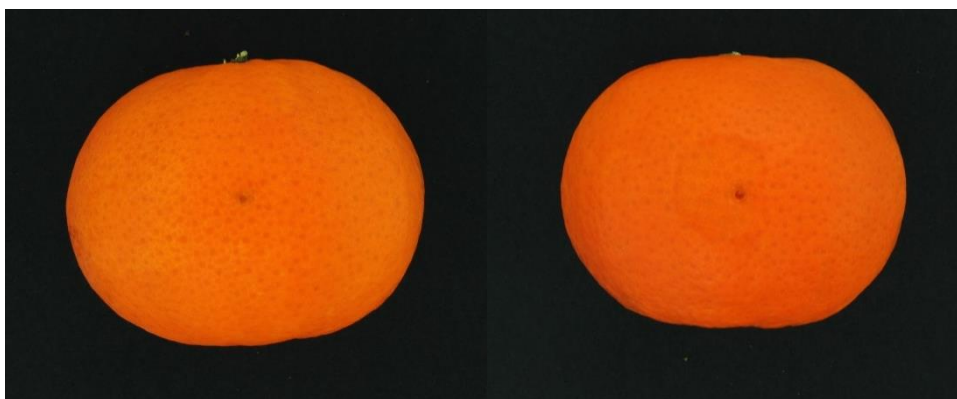


Figura. 1. Mandarina inoculada con agua (izquierda) y mandarina con lesiones de podredumbre causada por *P. digitatum* (derecha).

Equipo

Se ha utilizado un equipo multicanal (AvaSpec-USB2-DT, Avantes, Inc.) que combina dos espectrofotómetros, el primero sensible en el rango VIS/NIR entre 600 nm y 1100 nm con una resolución de 0,255 nm (AvaSpec-ULS2048-USB2, Avantes, Inc.) y el segundo en el rango NIR entre 900 nm y 1750 nm con una resolución de 3,535 nm (AvaSpec-NIR256-1.7, Avantes, Inc.). Para la adquisición de los espectros se utilizó una sonda con geometría de 45° para minimizar la reflexión especular.

El tiempo de integración se ajustó para cada espectrofotómetro empleando una referencia blanca (99%) de forma que se consiguiera un 90% de saturación. En concreto se establecieron tiempos de integración de 90 ms y 700 ms para los equipos VIS/NIR y NIR respectivamente. Cada medida se obtuvo como el promedio de cinco muestreos para reducir el ruido térmico del detector (Nicolai et al., 2007). Las medias de reflectancia de cada muestra (S) se convirtieron a reflectancia relativa (R) respecto de la referencia blanca (W) y negra (D) obtenidos estos últimos realizando una medición sin luz y con la tapa de la sonda colocada, como se muestra en la Ecuación (1)

$$R = \frac{S - D}{W - D} \quad (1)$$

Para evitar la influencia de la menor sensibilidad del equipo en los límites de su sensibilidad espectral, las medidas se realizaron entre 650 nm y 1050 nm con el equipo VIS/NIR y entre 1000 nm y 1700 nm con el equipo NIR. Teniendo en cuenta la resolución de cada equipo, en el primer caso se obtuvieron un total de 1570 variables espectrales (valores de reflectancia para diferentes longitudes de onda) y en el segundo caso 198. Los espectros se obtuvieron colocando manualmente la sonda sobre la parte de la fruta que se deseaba medir.

Procesamiento de los datos

Algunas características físicas de la fruta, como el tamaño o la forma, pueden afectar la reflexión de la luz y, por lo tanto, a las medidas de los espectros. Por ello, los espectros obtenidos se preprocesaron utilizando la corrección de la dispersión multiplicativa (MSC; multiplicative scatter correction; Geladi et al., 1985) y la técnica de la varianza normal estándar (SNV, Standard Normal Variate; Barnes et al., 1989) para minimizar los efectos

de la dispersión de la luz. Este preprocesamiento se realizó utilizando Matlab 8.1 (Mathworks, Inc., USA).

Los espectros adquiridos se podrían utilizar directamente como entrada de los clasificadores para discriminar entre piel sana y podrida. Sin embargo, se han aplicado técnicas para reducir la alta dimensionalidad espectral para aumentar así el rendimiento de los clasificadores (Tian, 2010). En concreto, se han usado técnicas de extracción de características, comúnmente conocidas como *manifolds*, las cuales son capaces de encontrar estructuras latentes de baja dimensión ocultas en datos de alta dimensionalidad preservando las propiedades de datos. En este trabajo se han utilizado tres métodos de extracción: análisis de componentes principales (PCA), que calcula las proyecciones lineales que posean la mayor varianza a partir de los vectores propios asociados a los valores propios más grandes de la matriz de covarianza de los datos (Jolliffe, 2002), análisis factorial (FA), que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables correlacionadas a partir de un conjunto numeroso de variables (Lawley y Maxwell, 1971) y mapeo de Sammon, que trata de encontrar una proyección no lineal óptima para los datos en alta dimensión, de manera que los vectores que se proyectan en la superficie bidimensional conservan la misma distancia Euclídea relativa entre ellos que la que tenían en alta dimensión (Sammon, 1969). Se han escogido estos métodos porque se adecuan al tipo de datos utilizados en este trabajo (Lee y Verleysen, 2007).

Como paso previo, ya que es un parámetro que se requiere como entrada de los métodos de extracción de características, se debe calcular la dimensionalidad intrínseca, definida como el número mínimo de variables que permiten describir toda la información contenida en los datos (Lee y Verleysen, 2007). Para estimar la dimensionalidad intrínseca se utilizaron cuatro métodos: estimador basado en valores propios (EB; Fukunaga y Olsen, 1971), máxima verosimilitud (ML; Levina y Bickel, 2005), dimensión de correlación (CD; Camastra y Vinciarelli, 2002) y árbol de expansión mínima (GMST; Costa y Hero, 2004).

Modelos de clasificación

Con el objetivo de evaluar y comparar los rangos espectrales (VIS/NIR y NIR), técnicas de pre-procesado (sin pre-procesar, MSC y SNV), métodos de extracción (PCA, FA y mapeo de Sammon) y estimadores de dimensionalidad (EB, ML, CD y GMST) en función del rendimiento del clasificador, cada uno de los tres métodos de extracción se aplicó a los seis conjuntos de datos usando las diferentes estimaciones de dimensionalidad intrínseca. Después, las características resultantes se usaron como entradas de un clasificador basado en análisis discriminante lineal (LDA) para discriminar entre piel sana y podrida.

Para la evaluación del rendimiento de los modelos de clasificación, se usó un proceso de validación cruzada de cinco iteraciones, que consistió en dividir aleatoriamente los datos en cinco subconjuntos y usar cuatro de ellos para calibración y el quinto para validación. Este proceso se repitió cinco veces, usando cada vez un subconjunto distinto para validación. El proceso completo de validación cruzada se repitió 100 veces, obteniendo así un total de 500 iteraciones de calibración y validación para cada modelo de clasificación. Posteriormente, los resultados de validación fueron promediados sobre todas las iteraciones, obteniéndose una matriz de confusión promedio. Con la finalidad de evaluar el rendimiento de la clasificación, se calculó la tasa de acierto promedio para

cada modelo de clasificación a partir de su matriz de confusión promedio, dividiendo el número de muestras bien clasificadas por el número total de muestras.

Resultados y Discusión

Análisis de los espectros

Para evaluar el efecto del procedimiento de inoculación en las medidas, se realizó un contraste de hipótesis basada en la aplicación de una prueba t de Student ($p < 0,05$, desapareada de doble cola) a cada variable espectral de los espectros medidos con el fin de determinar si los espectros medios de los dos tipos de piel sana (intacta e inoculada con agua) presentaban diferencias significativas. La figura 2 muestra los espectros medios de ambos tipos de piel sana en el VIS/NIR y NIR. Según los resultados del test de significancia, ninguna de las variables espectrales de ambos tipos de piel presentaron diferencias significativas en el rango VIS/NIR, mientras que únicamente seis longitudes de onda del total de 198 variables en el rango NIR presentaron diferencias significativas, todas ellas comprendidas en el rango entre 1364 nm y 1382 nm. Se concluyó a partir de esta prueba que el procedimiento de inoculación no afectaba a las medidas de los espectros.

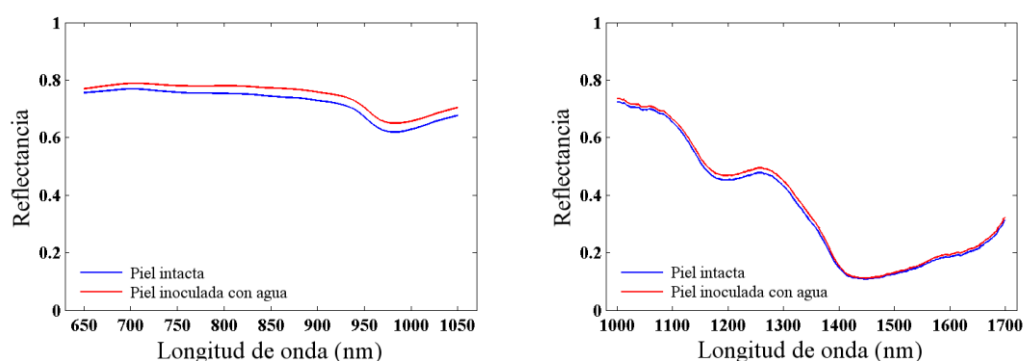


Figura. 2. Espectros medios de los dos tipos de piel sana: inoculada con agua e intacta en el VIS/NIR (izquierda) y NIR (derecha).

De la misma manera, se aplicó la prueba t de Student para comprobar si existían diferencias significativas entre los espectros de las frutas infectadas y aquellas que no estaban infectadas. Para esta prueba, ambos tipos de piel sana se agruparon en una única clase. Los resultados (figura 3) mostraron que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los espectros medidos en la piel sana y la piel infectada para todas las longitudes de los dos rangos espectrales estudiados.

Los espectros medios de las frutas infectadas fueron sensiblemente menores que aquellos obtenidos de las frutas sanas lo que puede explicarse por la dispersión de la luz en la piel podrida debido a los procesos de descomposición de la piel que conllevan una rotura celular y por lo tanto cambios en la forma en que la luz se absorbe, dispersa y refleja por la piel. De estos experimentos se puede concluir que la presencia de podredumbre altera los espectros obtenidos de la piel y por lo tanto esta técnica podría utilizarse para detectar esta peligrosa enfermedad.

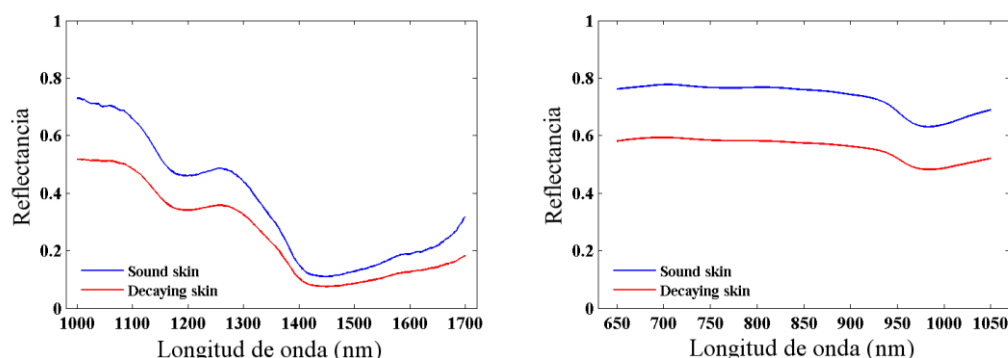


Figura. 3. Espectros medios de las muestras de piel sana y podrida en el VIS/NIR (izquierda) y NIR (derecha).

Evaluación del rendimiento del clasificador

La tabla 1 muestra las combinaciones de técnicas con las que se obtuvo la máxima tasa de acierto promedio del clasificador para los espectros en los dos rangos espectrales, así como los correspondientes resultados de clasificación.

Para los espectros en el rango VIS/NIR, la máxima tasa de acierto promedio del clasificador de un 95,1% se obtuvo usando los espectros sin pre-procesar, la dimensionalidad intrínseca estimada por ML y PCA como método de extracción. En el caso de los espectros en el rango NIR, la máxima tasa de acierto promedio del 97,8% se consiguió usando los espectros sin pre-procesar, la dimensionalidad intrínseca estimada por ML o GMST y FA como método de extracción. En vista de estos resultados, se puede decir que para ambos rangos espectrales los métodos lineales para reducir la dimensionalidad (PCA y FA) superaron a los no lineales (mapeo de Sammon). Además, se debe destacar el hecho de que los espectros sin pre-procesar proporcionaron mejores resultados de clasificación que los espectros pre-procesados con MSC y SNV, lo que sugirió que la información física que eliminaron los métodos de pre-procesado es importante en el proceso de podredumbre. Con respecto a los estimadores de dimensionalidad intrínseca, los resultados indicaron que ML y GMST estimaron dimensionalidades más altas que EB y CD, consiguiendo así mejores resultados de clasificación.

Al comparar los resultados de clasificación para combinaciones ganadoras de técnicas, se puede observar que, para los espectros en el NIR, el porcentaje de muestras sanas bien clasificadas fue mayor que para los espectros en el VIS/NIR, pasando de un 98,01% a un 100%. Además, para los espectros en el NIR, el porcentaje de muestras podridas mejoró en mayor medida que el de muestras sanas, pasando de un 90,69% a un 94,42%. En la práctica, esta mejora en la clasificación de muestras podridas tiene especial importancia para un futuro sistema de inspección, ya que un número reducido de frutas infectadas puede contaminar una partida de fruta completa, lo que conlleva grandes pérdidas económicas. Por lo tanto, para los espectros en el rango NIR, la tasa de acierto promedio también mejoró, pasando de un 95,07% a un 97,76%.

Tabla 1. Resultados de la clasificación obtenidos utilizando los espectros VIS/NIR y NIR con las combinaciones más eficiente de los métodos estudiados.

	VIS/NIR			NIR		
Combinación más eficiente	Sin preprocesado, ML, PCA			Sin preprocesado, ML o GMST, FA		
Acierto promedio	95.07%			97.76%		
Matriz de confusión		Sana (%)	Podrida (%)		Sana (%)	Podrida (%)
	Sana	98.01	9.31	Sana	100.00	5.58
	Podrida	1.99	90.69	Podrida	0.00	94.42

Conclusiones

Este trabajo ha demostrado el potencial de la espectroscopía de reflectancia en los rangos del visible y NIR para detectar podredumbres incipientes causadas por el hongo *P. digitatum* en cítricos. Los espectros han demostrado ser dependientes del estado de la piel de mandarina (sana y podrida), ya que se han observado diferencias significativas en los espectros entre ambos estados para los dos rangos espectrales.

Se han obtenido buenos resultados de clasificación con las combinaciones óptimas de técnicas para los espectros en los dos rangos espectrales. En concreto, para los dos rangos espectrales, el porcentaje de muestras bien clasificadas es superior al 90% para ambas clases a pesar de su gran similitud. No obstante, la combinación ganadora de técnicas para los espectros en el NIR ha proporcionado mejores resultados.

Los resultados demuestran que la espectroscopía es una tecnología óptica con gran potencial para detectar podredumbres en cítricos y sienta las bases para la futura implementación de esta tecnología en un sistema comercial para detectar podredumbres en cítricos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA y los fondos FEDER a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03, y a la Consellería de Educación, Cultura y Deporte, Generalitat Valenciana a través del proyecto AICO/2015/122. Delia Lorente y Sandra Munera agradecen al INIA las becas doctorales FPI-INIA número 42 (convocatoria 2010) y número 43 (CPR2014-0082), cofinanciadas con fondos FSE de la Unión Europea. Victoria Cortés agradece al MECD la beca doctoral FPU13/04202.

Bibliografía

- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S., Lister, S. J., 1989. Standard Normal Variate Transformation and De-trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. Appl. Spectrosc. 43, 772-777.
- Camastra, F., Vinciarelli, A., 2002. Estimating the intrinsic dimension of data with a fractal-based approach. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 24, 1404-1407.
- Cayuela, J. A., 2008. Vis-NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia Late by reflectance. Postharvest Biol. Technol. 47, 75-80.

- Costa, J. A., Hero, A. O., 2004. Geodesic entropic graphs for dimension and entropy estimation in manifold learning. *IEEE Trans. Signal. Process.* 52, 2210-2221.
- Fukunaga, K., Olsen, D. R., 1971. An algorithm for finding intrinsic dimensionality of data. *IEEE Trans. Comput.* 20, 176-183.
- Garrido-Novell, C., Pérez-Marin, D., Amigo, J. M., Fernández-Novales, J., Guerrero, J. E., Garrido-Varo, A., 2012. Grading and color evolution of apples using RGB and hyperspectral imaging vision cameras. *J. Food Eng.* 113, 281-288.
- Geladi, P., MacDougall, D., Martens, H., 1985. Linerization and Scatter-Correction for Near-Infrared Reflectance Spectra of Meat. *Appl. Spectrosc.* 39, 491-500.
- Gómez, A. H., He, Y., Pereira, A. G., 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using VIS-NIR spectroscopy techniques. *J. Food Eng.* 77, 313-319.
- Gómez, J., Blasco, J., Moltó, E., Camps-Valls, G., 2007. Hyperspectral detection of citrus damage with a Mahalanobis kernel classifier. *Electronics Letters.* 43, 1082-1084.
- Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., Soria-Olivas, E., Lorente, D., Escandell-Montero, P., Martínez-Martínez, J. M., Aleixos, N., 2013. Hyperspectral LCTF-based system for classification of decay in mandarins caused by *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* using the most relevant bands and non-linears classifiers. *Postharvest Biol. Technol.* 82, 76-86.
- Gómez-Sanchis, J., Martín-Guerrero, J. D., Soria-Olivas, E., Martínez-Sober, M., Magdalena-Benedito, R., Blasco, J., 2012. Detecting rottenness caused by *Penicillium* in citrus fruits using machine learning techniques. *Expert Syst. Appl.* 39, 780-785.
- Jha, S. N. Narsaiah, K. Jaiswal, P. Bhardwaj, R. Gupta, M. Kumar, R. Sharma R., 2014. Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. *J. Food Eng.* 124, 152-157.
- Jolliffe, I. T., 2002. Principal component analysis, second ed. Springer, New York, USA.
- Khanmohammadi, M., Karami, F., Mir-Marqués, A., Bagheri Garmarudi, A., Garrigues, S., de la Guardia M., 2014. Classification of persimmon fruit origin by near infrared spectrometry and least squares-support vector machines. *J. Food Eng.* 142, 17-22.
- Kohno, Y., Kondo, N., Iida, M., Kurita, M., Shiigi, T., Ogawa, Y., Kaichi, T., Okamoto, S., 2011. Development of a mobile grading machine for citrus fruit. *Eng. Agric. Environ. Food*, 4, 7-11.
- Kondo, N., Kuramoto, M., Shimizu, H., Ogawa, Y., Kurita, M., Nishizu, T., Chong, V. K., Yamamoto K., 2009. Identification of fluorescent substance in mandarin orange skin for machine vision system to detect rotten citrus fruits. *Eng. Agric. Environ. Food* 2, 54-59.
- Kurita, M., Kondo, N., Shimizu, H., Ling, P., Falzea, P. D., Shiigi, T., Ninomiya, K., Nishizu, T., Yamamoto, K., 2009. A double image acquisition system with visible and UV LEDs for citrus fruit. *J. Robot. Mechatron.* 21, 533-540.
- Lawley, D. N., Maxwell, A. E., 1971. Factor Analysis as a Statistical Method, second ed. Butterworth Co Publishers Ltd., London, UK.
- Lee, J. A., Verleysen, M., 2007. Nonlinear Dimensionality Reduction. Springer, New York, USA.
- Levina, E., Bickel, P. J., 2005. Maximum likelihood estimation of intrinsic dimension. In: L. K. Saul, Y. Weiss, L. Bottou, Eds., *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 17. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Liu, Y., Sun, X., Ouyang, A., 2010. Nondestructive measurements of soluble solid content of navel orange fruit by visible-NIR spectrometric technique with PLSR and PCA-BPNN. *LWT-Food Sci. Technol.* 43, 602-607.
- Lopes, L. B., VanDeWall, H., Li, H. T., Venugopal, V., Li, H. K., Naydin, S., Hosmer, J., Levendusky, M., Zheng, H., Bentley, M. V., Levin, R., Hass, M. A., 2010. Topical delivery of lycopene using microemulsions: enhanced skin penetration and tissue antioxidant activity. *J. Pharm. Sci.* 99, 1346-1357.

- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., Blasco, J., 2013a. Selection of optimal wavelength features for decay detection in citrus fruit using the ROC curve and neural networks. *Food Bioprocess Technol.* 6, 530-541.
- Lorente, D., Blasco, J., Serrano, A.J., Soria-Olivas, E., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., 2013b. Comparison of ROC feature selection method for the detection of decay in citrus fruit using hyperspectral images. *Food Bioprocess Technol.* 6, 3613-3619.
- Lorente, D., Zude, M., Regen, C., Palou, L., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2013c. Early decay detection in citrus fruit using laser-light backscattering imaging. *Postharvest Biol. Technol.* 86, 424-430.
- Lorente D, Zude M, Idler C, Gómez-Sanchis J, Blasco J (2015) Laser-light backscattering imaging for early decay detection in citrus fruit using both a statistical and a physical model. *Journal of Food Engineering*, 154, 76-85.
- Navarro, L., Pina, J. A., Juárez, J., Ballester-Olmos, J. F., Arregui, J. M., Ortega, C., Navarro, A., Duran-Vila, N., Guerri, J., Moreno, P., Cambra, M., Zaragoza, S., 2002. The citrus variety improvement program in Spain in the period 1975-2001. In: *Proceedings of the 15th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. IOCV, Riverside*, pp. 306-316.
- Nicolaï, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, I. K., Lammertyn, J., 2007. Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46, 99-118.
- Palou, L., Smilanick, J. L., Montesinos-Herrero, C., Valencia-Chamorro, S., Pérez-Gago, M. B., 2011. Novel approaches for postharvest preservation of fresh citrus fruits. In: D. A. Slaker, Ed., *Citrus Fruits: Properties, Consumption and Nutrition*, pp. 1-45. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA.
- Palou, L., Smilanick, J., Usall, J., Viñas, I., 2001. Control postharvest blue and green molds of oranges by hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. *Plant Dis.* 85, 371-376.
- Sammon, J. W., 1969. A nonlinear mapping for data structure analysis. *IEEE Trans. Comput.* 18, 401-409.
- Tian, T. S., 2010. Dimensionality Reduction for Classification with High-Dimensional Data. PhD thesis, VDM Verlag, Saarbrücken, Germany.
- Wang, A., Hu, D., Xie, L., 2014. Comparison of detection modes in terms of the necessity of visible region (VIS) and influence of the peel on soluble solids content (SSC) determination of navel orange using VIS-SWNIR spectroscopy. *J. Food Eng.* 126, 126-132.
- Wang, A., Xie, L., 2014. Technology using near infrared spectroscopic and multivariate analysis to determine the soluble solids content of citrus fruit. *J. Food Eng.* 143, 17-24.
- Xia, J., Li, X., Li, P., Ma, Q., Ding, X., 2007. Application of wavelet transform in the prediction of 'Navel' orange vitamin C content by near-infrared spectroscopy. *Agric. Sci. China* 6, 1067-1073.
- Xie, L., Ying, Y., Ying T., 2009. Classification of tomatoes with different genotypes by visible and short-wave near-infrared spectroscopy with least-squares support vector machines and other chemometrics. *J. Food Eng.* 94, 34-39.
- Zheng, Y., He, S., Yi, S., Zhou, Z., Mao, S., Zhao, X., Deng, L., 2010. Predicting oleocellosis sensitivity in citrus using VNIR reflectance spectroscopy. *Sci. Hortic.* 125, 401-405.

AU05 - Medición no destructiva del índice de madurez en mango 'Kent' usando tecnología de imagen hiperespectral

Munera-Picazo, S.¹, Cubero, S.¹, Albert, F.², Talens, P.³, Cortés, V.³, Blasco, J.¹ y Aleixos, N.^{2*}

¹Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera km 5, 46113, Moncada, Valencia (España). ²Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España). E-mail: * naleixos@dig.upv.es ³Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España).

Resumen

El mango es una fruta tropical de alto valor añadido que ha despertado el interés de la industria agroalimentaria en los últimos años, que está incrementando sus esfuerzos para determinar la calidad interna del mismo mediante técnicas no destructivas. En este trabajo se utilizaron 131 mangos de la variedad 'Kent' distribuidos en tres lotes (verdes, maduros y sobremaduros) y almacenados en condiciones de humedad y temperatura controladas. Se tomaron imágenes de dos caras de los mangos con un sistema hiperespectral basado en dos filtros sintonizables de cristal líquido (LCTF), sensibles entre los dos en el rango espectral 420-1080 nm. Tras la captura de las imágenes, se analizaron la firmeza, la acidez titulable y el contenido en sólidos solubles mediante técnicas destructivas de referencia, estableciéndose un índice de madurez (RPI) basado en una combinación de estas propiedades. Las imágenes hiperespectrales se analizaron extrayendo la reflectancia de la superficie de ambas caras de los mangos. El análisis de los datos se realizó mediante la creación de dos modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) para establecer la relación entre los espectros medios de reflectancia de la superficie de los mangos y el RPI obtenido. Se utilizó el 70% de las muestras para construir el modelo, obteniéndose un $R^2=0,852$ con todas las bandas para el conjunto de calibración. Posteriormente, se redujo a un total de seis longitudes de onda (520, 560, 730, 760, 870 y 1050 nm) con un $R^2=0,849$. El modelo con las seis longitudes de onda se validó con el 30% de las muestras restante, obteniéndose un $R^2=0,739$, que indica que es posible predecir la madurez de esta variedad de mango empleando un conjunto muy reducido de longitudes de onda en el visible e infrarrojo cercano.

Palabras clave: Calidad, fruta tropical, visible/NIR, reflectancia, longitud de onda.

Non-destructive measurement of ripening index of 'Kent' mango using hyperspectral imaging techniques

Abstract

Mango is a tropical fruit with high added value and has been interest by food industry in last years, which is increasing its efforts to determine the internal quality of this fruit by non-destructive techniques. In this study, 131 mangoes of 'Kent' variety were used and divided into three batches (unripe, ripe and overripe) and stored under controlled temperature and humidity. Mango images were taken by two sides with a hyperspectral systems based on two liquid crystal tunable filters (LCTF), sensitive in the spectral range 420-1080 nm. After images capturing, firmness, acidity and soluble solids content were analyzed by reference destructive techniques. A ripening index (RPI) was established with the combination of these properties. Hyperspectral images were analyzed by extracting the surface reflectance of both sides of mangoes. The data analysis was performed by two models of partial least squares regression (PLS) to establish the relationship between reflectance spectra of the surface of the mangoes and RPI obtained. 70% of the samples was used to build the model, obtaining a $R^2 = 0,852$ with all the bands for the calibration set. Later, the set was reduced to six wavelengths (520, 560, 730, 760, 870 and 1050 nm) with $R^2 = 0,849$. The model with six wavelengths were validated with 30% of the remaining samples to give a $R^2 = 0,739$ indicating that it is

possible to predict the maturity of this variety of mango using a very limited set of wavelengths in the visible and near infrared.

Keywords: Quality, tropical fruit, visible/NIR, reflectance, wavelength.

Introducción y/o Justificación

El mango (*Mangifera indica* L) es una de las frutas tropicales más ampliamente aceptada por los consumidores por su sabor, aroma, color atractivo y propiedades antioxidantes. La variedad 'Kent' es un cultivar de maduración tardía que produce un fruto grande y ovalado, con una coloración de piel roja, amarilla y verde. Su pulpa es muy dulce, aromática, jugosa con baja fibrosidad y cuya semilla es pequeña (Mattiuz *et al.*, 2015).

Conseguir la máxima calidad es uno de los mayores retos que hoy en día posee la industria agroalimentaria. Además, en este sector existe una gran competitividad por lo que es necesario el uso de métodos rápidos y económicos a la vez que fiables. En el caso del mango esto es un requisito, ya que posee un alto valor añadido, y por el que el consumidor está dispuesto a pagar más o menos en función de su firmeza, sabor, color, etc. y en definitiva por su calidad.

Los indicadores de calidad físico-químicos son los considerados como métodos tradicionales. La firmeza, acidez, contenido en sólidos solubles, pH o colorimetría son los más usados entre otros. Su aplicación suele ser sencilla aunque es necesario utilizar varios de ellos conjuntamente para poder garantizar la calidad de la fruta analizada, requieren de destrucción de la muestra y de personal cualificado para realizarlos.

En los últimos años están surgiendo nuevas tecnologías para el control de la calidad de manera no destructiva y fiable. Entre ellos pueden mencionarse los ultrasonidos (Valente *et al.*, 2013), la nariz artificial (Li *et al.*, 2009) o la espectrometría (Schmilovitch *et al.*, 2000). Aunque están destacando los sistemas de visión artificial que permiten crear herramientas para evaluar de forma automática algunas características de las frutas como tamaño, color, textura, así como algunos descriptores que pueden ser importantes para predecir la calidad de los frutos (Cubero *et al.*, 2011). La evaluación del color externo es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para predecir las diferentes etapas de madurez de frutas (Wanitchang *et al.*, 2011; Velez-Rivera *et al.*, 2013). Además están los sistemas de imagen hiperespectral, que entran dentro del campo de la visión artificial, y que son capaces de adquirir un conjunto de imágenes monocromáticas en diferentes longitudes de onda, desde el visible hasta el infrarrojo cercano, para poder estimar, a partir de los espectros obtenidos, la calidad de la fruta de una forma que otros métodos no pueden (Lorente *et al.*, 2012), tanto interna como externamente.

El objetivo de este trabajo es obtener una relación entre los parámetros físico-químicos obtenidos de métodos destructivos con la información hiperespectral, para poder predecir o determinar algún aspecto de la calidad interna del mango de manera no destructiva.

Material y Métodos

Material vegetal

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron 131 mangos (*Mangifera Indica* L.) cv. 'Kent' sanos adquiridos en lonjas de frutas de Valencia (España) en 2014. Se clasificaron en tres lotes siendo lote 1 mangos verdes (26 frutos), lote 2 maduros (96 frutos) y lote 3 sobremaduros (11 frutos). Se lavaron con una solución jabonosa, aclarados con agua y secados a temperatura ambiente. Durante los análisis fueron almacenados en cámara de conservación en condiciones controladas de humedad y temperatura (90% - 10°C).

Adquisición de las imágenes

En primer lugar se realizó la captura de las imágenes, para ello se tomaron imágenes de las dos caras de los mangos con un sistema hiperespectral dotado de una cámara monocromática CoolSNAP ES, (Photometrics, USA) con dos filtros sintonizables de cristal líquido (LCTF) Varispec VIS-07 y NIR-07, (Cambridge Research & Instrumentation, Inc., USA), sensibles entre los dos en el rango espectral 420-1080 nm con una resolución de 10 nm. El enfoque del sistema de adquisición se realizó en la banda central del intervalo de adquisición (740 nm). La escena se iluminó con luz indirecta de 12 lámparas halógenas de 20 W (Philips Brilliantline 20W/12V), equidistantes entre sí y situadas dentro de una campana semiesférica de aluminio a fin de proporcionar una intensidad lumínica uniforme de toda la escena y aislamiento de la luz ambiental. Los tiempos de integración de cada banda han sido elegidos en función del nivel de gris correspondiente al 90% del rango dinámico de la cámara en la dicha banda, evitando de este modo que no se alcance la zona de saturación del sensor.

Las imágenes fueron adquiridas mediante la colocación manual de la fruta dentro de la campana de inspección, tomándose imágenes de ambas caras del mango. Este sistema capturó un cubo hiperespectral compuesto por 44 imágenes monocromaticas para cada cara de cada fruto. La Figura 1 muestra un diagrama del sistema de adquisición de imagen.

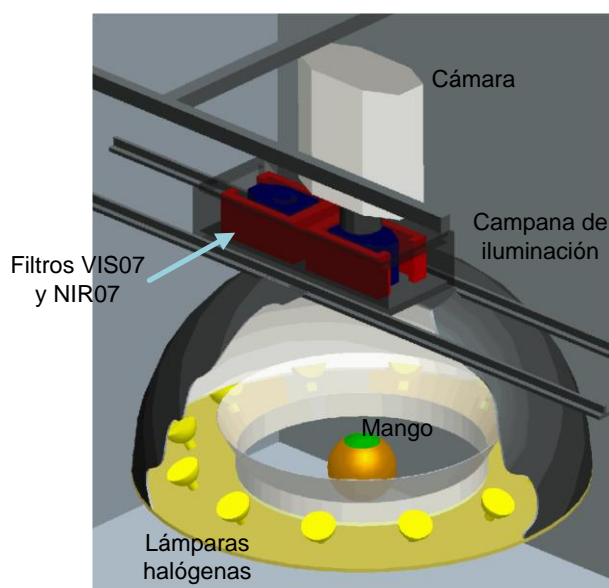


Figura 1. Diagrama del sistema de adquisición de imagen hiperespectral utilizado.

Posteriormente, las imágenes fueron corregidas para obtener la reflectancia relativa del pixel ubicado en la posición (x,y) de la imagen monocromática de la banda λ . Esta corrección se realizó según Gat (2000), tal como se indica en la Ecuación (1):

$$\rho_{xy}(x, y, \lambda) = \frac{R^{abs}}{R^{abs}_{blanca}} = \rho^{Ref}(\lambda) \frac{R(x,y,\lambda) - R_{negra}(x,y,\lambda)}{R_{blanca}(x,y,\lambda) - R_{negra}(x,y,\lambda)} \quad (1)$$

Siendo $\rho_{Ref}(\lambda)$ la reflectancia promedio de la reflectancia blanca, $R(x,y, \lambda)$ la radiancia del objeto (en nuestro caso un mango) captada por el CCD, $R_{blanca}(x,y, \lambda)$ la radiancia de la referencia blanca captada por el CCD y $R_{negra}(x,y, \lambda)$ es la radiancia captada por el CCD anulando toda fuente de iluminación y que permite cuantificar el ruido electrónico del CCD.

En la Figura 2.a se muestra una imagen de un mango 'Kent', en la Figura 2.b se muestra la imagen monocromática en la banda 620 nm y en la Figura 2.c la imagen monocromática en la banda 930 nm, extraídas estas dos últimas de la imagen hiperespectral capturada.

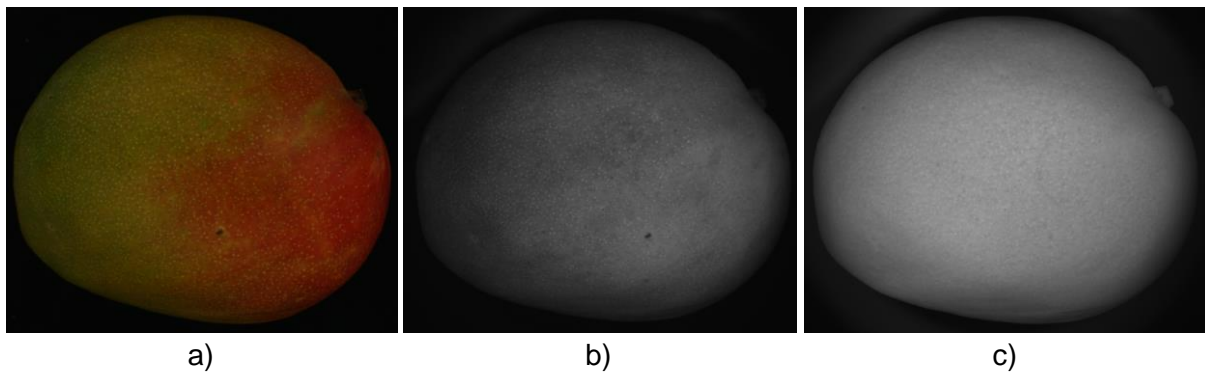


Figura 2. Ejemplo de mango 'Kent'.

Análisis destructivos

Tras la captura de las imágenes se procedió a realizar los análisis destructivos. Se determinó la fuerza de fractura (F) de los mangos enteros con un texturómetro XT2 Stable (MicroSystems Haslemere, Reino Unido). Se realizó un ensayo de punción con una sonda de 6mm de diámetro hasta una deformación del 30% a 1mm/s. La F se expresó en Newtons. Después se pelaron, licuaron y filtraron para el resto de análisis. La acidez (TA) se midió con un valorador automático Crison pH-Burette 24 (Crison, Barcelona, España) con hidróxido de sodio 0.1 N hasta un pH de 8,1 según la norma UNE34211:1981 (AENOR, 1981). La TA fue expresada como % de ácido cítrico. Por último, el contenido en sólidos solubles (TSS) se analizó con un refractómetro digital RFM330+VWR (Internacional Eurolab S.L., Barcelona, España) a 20°C y se expresó en °Brix. Todos estos análisis destructivos se hicieron por triplicado en tres zonas diferentes del mango. Con ello se estableció el índice de maduración (RPI) que es el que mejor relaciona las propiedades físico-químicas de las frutas con la percepción sensorial de la madurez de este fruto (Vásquez *et al.*, 2005), el cual está basado en una combinación de las propiedades analizadas anteriormente y que se plasman en la Ecuación (2):

$$RPI = \ln \frac{100 \times F \times TA}{TSS} \quad (2)$$

La Tabla 1 muestra los datos de caracterización medios de los tres lotes bajo estudio junto a la desviación estándar. Para demostrar su diferencia significativa se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y el test de rangos múltiples de Tukey. Tanto la TA como la F son mayores en el lote 1, siendo menores para el lote 3, hecho habitual en este tipo de fruto (Razzaqa *et al.*, 2013, Velez-Rivera *et al.*, 2013). Cabe destacar los valores de TSS donde los más altos deberían haberse encontrado en los mangos sobremaduros (lote 3) y los más bajos en los verdes, pero esto no fue así debido a que fueron recolectados en explotaciones diferentes. Por último, se combinaron estos parámetros para obtener el valor RPI de la Ecuación (2) para los tres lotes, que varió desde 5,65±0,66 en los mangos verdes hasta 2,40±0,50 en los sobremaduros.

Tabla 1. Valores medios de los análisis destructivos y RPI por lote.

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3
TA (%)	0,84±0,11 ^a	0,45±0,14 ^b	0,17±0,05 ^c
TSS (°Brix)	14,7±1,9 ^a	14,8±1,2 ^a	10,9±1,9 ^b
F (N)	61,7±0,1 ^a	32,1±0,2 ^b	7,84±0,18 ^c
RPI	5,65±0,66 ^a	4,42±0,80 ^b	2,40±0,50 ^c

Diferentes letras en el superíndice dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre grupos (P<0,05), según la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

Para establecer la relación entre los espectros medios de reflectancia de la superficie de los mangos y los parámetros físico-químicos (TSS, la TA, la F y la RPI), se creó un modelo de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) con ayuda del programa estadístico Unscrambler versión 9.7 (Camo Software, Oslo, Noruega). En dicho modelo se utilizó el 70% de los mangos analizados como set de calibración. Con este modelo se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos de calibración obtenidos para los diferentes parámetros.

Parámetro	Calibración		Validación cruzada	
	Correlación (%)	R ²	Correlación (%)	R ²
TSS	43,3	0,18 8	28,2	0,079
TA	52,9	0,27 9	43,6	0,198
F	80,0	0,64 0	73,8	0,554
RPI	92,3	0,85 3	90,0	0,814

Como puede observarse en la Tabla 2, tanto la calibración como la validación, los porcentajes de correlación para los parámetros TSS, TA y F no fueron buenos, siendo el que mejor correlación presentó, el RPI. Para este parámetro se obtuvo un grado de correlación del 92,3% y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,85 para la calibración y de un 90,0% y 0,814 para la validación, siendo el error obtenido en ambos casos menor del 10%.

El problema principal de las imágenes hiperespectrales es la gran cantidad de información que contienen y el alto tiempo de integración (captura de la imagen). Para reducir la dimensionalidad de las imágenes hiperespectrales, se estudió el modelo anterior determinando las bandas más relevantes para las cuales se alcanzaba el máximo acierto en la predicción del RPI, quedando esta dimensionalidad reducida a un total de 6 longitudes de onda: 520, 560, 730, 760, 870 y 1050 nm.

Finalmente se generó un segundo modelo con estas 6 longitudes de onda para las 70 muestras analizadas. En la Tabla 3 puede verse como el modelo generado a partir de las 6 longitudes de onda seleccionadas posee valores de calibración y validación similares al modelo con todas las bandas.

Tabla 3. Modelos de calibración obtenidos entre el RPI y los espectros medios de reflectancia.

Modelo	Calibración		Validación cruzada	
	Correlación (%)	R^2	Correlación (%)	R^2
Con todas las longitudes de onda	92,3	0,853	90,0	0,814
Con seis longitudes de onda	92,2	0,849	91,1	0,833

El segundo modelo, con las seis longitudes de onda seleccionadas, se utilizó para predecir el 30% de las muestras restantes de mango obteniéndose una correlación del 88,2%, un coeficiente de determinación (R^2) de 0,739, con un error de predicción inferior al 10% (Figura 3).

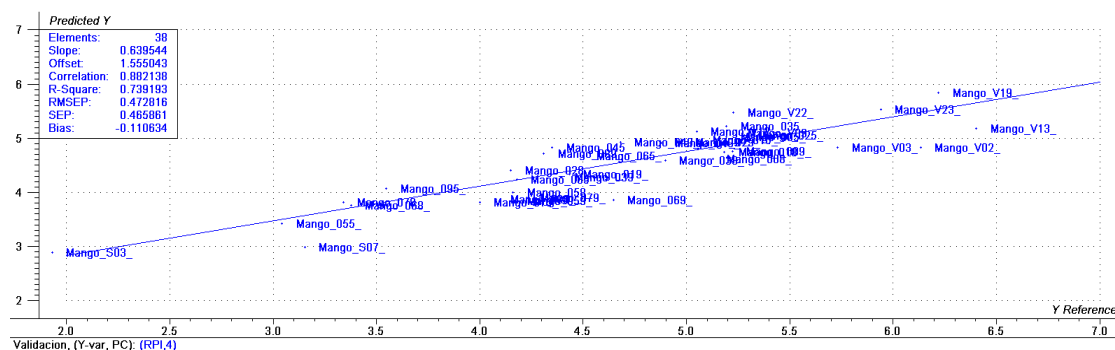


Figura 3. Predicción del RPI en base al modelo de calibración obtenido a partir de las 6 longitudes de onda más relevantes.

Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la relación entre los parámetros físico-químicos obtenidos de métodos destructivos con la información hiperespectral, para poder evaluar algún aspecto de la calidad interna del mango 'Kent' de manera no destructiva. Para ello se han extraído los valores de reflectancia medios de la superficie de ambas caras del mango en el rango visible-NIR (420-1080 nm) y se han comparado con varios parámetros físico-químicos obtenidos de los métodos destructivos, viéndose que el RPI (índice de madurez) obtenido de la combinación de algunos de ellos es el que mejor correlaciona, permitiendo determinar así el estado de madurez del mango.

Inicialmente se creó un modelo de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) utilizando el 70% de las muestras para construir el modelo, obteniéndose un coeficiente de determinación (R^2) de 0,852 con todas las longitudes de onda para el conjunto de calibración. Posteriormente, se redujo la dimensionalidad a un total de seis longitudes de onda más relevantes (520, 560, 730, 760, 870 y 1050 nm) con un coeficiente de determinación bastante similar ($R^2=0,849$). El modelo con las seis longitudes de onda se validó con el 30% de las muestras restante, obteniéndose un $R^2=0,739$ que indica que es posible predecir la madurez de esta variedad de mango empleando un conjunto muy reducido de longitudes de onda en el visible e infrarrojo cercano, y que confirma la técnica de imagen hiperespectral como fiable y viable para la determinación de la calidad interna del mango 'Kent'.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA y los fondos FEDER a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03, y a la Consellería de Educación, Cultura y Deporte, Generalitat Valenciana a través del proyecto AICO/2015/122. Sandra Munera agradece al INIA la beca FPI-INIA número 43 (CPR2014-0082) cofinanciada con fondos FSE de la Unión Europea. Victoria Cortés agradece al MECD la beca doctoral FPU13/04202.

Bibliografía

- AENOR, 1981. Productos derivados de frutas y verduras, determinación de la acidez valorable. UNE 34211:1981.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. Food Bioprocess Tech 4, 487–504.
- Gat, N., 2000. Imaging spectroscopy using tunable filters: A review. Technical report, Opto- Knowledge Systems Inc. Proc SPIE 4056, 50-64.
- Li, Z., Wang, N., Raghavan, G.S.V., Vigneault, C., 2009. Ripeness and rot evaluation of 'Tommy Atkins' mango fruit through volatiles detection. J Food Eng 91, 319–324.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J., 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. Food Bioprocess Tech 5, 1121–1142.
- Mattiu, B.H., Ducamp-Collinb, M.N., Fabrino, C., Vigneault, C., Magalhães, K. Sagoua, W., Montet, D., 2015. Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and quality parameters of 'Kent' mango. Sci Hortic 184, 160–168.

- Razzaqa, K., Khana, A.S., Malika, A.U., Shahid, M., 2013. Ripening period influences fruit softening and antioxidative system of 'Samar Bahisht Chaunsa' mango. *Sci Hortic* 160, 108–114.
- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H., & Fuchs, Y., 2000. Determination of mango physiological indices by nearinfrared spectrometry. *Postharvest Biol Tec* 19, 245–252.
- Valente, M., Prades, A., & Laux, D., 2013. Potential use of physical measurements including ultrasound for a better mango fruit quality characterisation. *J Food Eng* 116, 57–64.
- Vásquez, C. A., Heller, A., Carle, R. and Neidhart, S., 2006. Chromoplast Morphology and α -Carotene accumulation during postharvest ripening of mango cv. 'Tommy Atkins'. *Journal of Agri Food Chem* 54, 5769-5776.
- Vélez-Rivera, N., Blasco, J., Chanona-Pérez, J., Calderón-Domínguez, G., Perea-Flores, M.J., Arzate-Vázquez, I., Cubero, S., Farrera-Rebollo, T., 2013. Computer vision system applied to classification of "Manila" mangoes during ripening process. *Food Bioprocess Tech* 7, 1183-1194.
- Wanitchang, P., Terdwongworakul, A., Wanitchang, J., & Nakawajana, N., 2011. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. *J Food Eng* 105, 477–484.

AU06 - Análisis de algunas características externas de los alimentos mediante análisis de imágenes utilizando Food-ColorInspector

Albert, F.¹; Aleixos, N.¹; Cubero, S.²; Bataller, C.²; Munera-Picazo, S.²; Blasco, J.²

¹Instituto Labhuman. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España). Email: {fraalgi1, naleixos}@dig.upv.es

²Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Cra. Moncada-Náquera km 5, 46113, Moncada, Valencia (España). Email: {blasco_josiva, cubero_ser, bataller_car, munera_san}@gva.es

Resumen

Food-ColorInspector es una aplicación de software especialmente desarrollada para evaluar el color y algunas características externas de alimentos mediante análisis de imágenes. Permite al usuario seleccionar diferentes áreas de color en la imagen y asignarlas a regiones de interés predefinidas. Los algoritmos desarrollados utilizan las zonas seleccionadas (conjunto de entrenamiento) para crear un mapa de colores de la imagen que permite segmentarla clasificando cada uno de los píxeles en las diferentes clases predefinidas. Se utilizan las coordenadas RGB (rojo, verde, azul) de los píxeles de las zonas seleccionadas como variables independientes y la clase a la que pertenecen como variable dependiente, para la creación de un clasificador basado en el teorema de Bayes. Con esta información, la aplicación crea un modelo capaz de segmentar la imagen clasificando cada pixel en la imagen en una de las clases predefinidas. Este modelo se guarda en un mapa de color que contiene cada posible combinación de RGB en una imagen y la clase a la que es asignado. A partir de la imagen segmentada, se proporcionan estadísticas básicas del color en diferentes espacios de color (RGB, CIELAB y HSI) y las principales características geométricas de cada región encontrada. El mapa de color generado con las imágenes de entrenamiento se puede utilizar para procesar conjuntos de imágenes de forma automática, proporcionando información de cada imagen y del conjunto de todas ellas en una hoja de cálculo. Entre otras aplicaciones, se puede usar, por ejemplo, para estimar el pardeamiento de un producto independientemente de la textura de la superficie, lo que es difícil de realizar usando el colorímetro tradicional. Se puede también utilizar para detectar, medir y caracterizar daños externos, manchas o estados de madurez o diferenciar entre diferentes partes de la composición de los alimentos. La aplicación se puede descargar desde la página web <http://www.cofilab.com> así como una colección de imágenes de prueba

Palabras clave: Segmentación de imágenes, análisis de color, calidad de alimentos.

Analysis of some external features of food by image analysis using Food-ColorInspector

Abstract

Food-ColorInspector is a software application specially developed to evaluate the colour and some external characteristics of foods by image analysis. It allows the user to select different areas in the image and assign them to one of the predefined classes representing different regions of interest. The algorithms developed use the selected areas (training set) to create a colour map that allows segmenting the image by classifying each pixel in different predefined classes. The RGB (red, green, blue) pixel coordinates in the selected areas are used as independent variables and the class to which they belong as a dependent variable, for creating a classifier based on Bayes' theorem. Using this information, the application creates a model capable of segmenting the image by classifying any pixel in the image in one of the predefined classes. This model is saved in a colour map that contains every possible combination of RGB in an image and the class to which it is assigned. From the segmented image, basic statistics of the colour in different colour spaces (RGB, CIELAB and HSI) and the main geometric characteristics of each found region are provided. The colour map generated with the training images can be later used to process sets of images automatically, providing information for each individual image and the whole set in a spreadsheet. Among other applications, it can be used, for example, to

estimate the browning of a product regardless of the surface texture, which is difficult to achieve using a traditional colorimeter. It can also be used to detect, measure and characterize external damages, stains or maturity stages or differentiate between different regions corresponding to different food composition. The application can be free downloaded from the website <http://www.cofilab.com> well as a collection of testing images

Keywords: Image segmentation, colour analysis, food quality

Introducción

La inspección no destructiva de la calidad externa de los productos agroalimentarios se basa, principalmente, en algunos aspectos visuales como el color, el tamaño, la forma o la textura, que el productor asocia con posibilidades de comercialización del producto y el consumidor con decisiones de compra. Durante la poscosecha, estos controles de calidad suelen consistir en una inspección visual que requiere una gran atención de operarios entrenados.

Para el caso de algunas frutas, como los cítricos, existen sistemas de inspección electrónicos basados en visión artificial capaces de clasificar la fruta a grandes velocidades en función de las decisiones que toma un sistema informático a partir del procesamiento de imágenes de las frutas (Cubero *et al.*, 2011, Lorente *et al.*, 2012). En otros casos, estos controles de calidad se realizan en laboratorios empleando equipos que en ocasiones tienen un elevado precio y no siempre permiten un análisis completo o detallado. Uno de los mayores problemas que se presentan para realizar una adecuada inspección es la enorme variabilidad externa que presentan los productos agroalimentarios. Incluso en productos de la misma variedad se pueden dar grandes diferencias de color, forma o tamaño lo que dificulta la creación de herramientas capaces de medir estas propiedades (Blasco *et al.*, 2007). Este es el caso cuando la propiedad a medir es el color, ya sea para determinar el estado de madurez, comprobar la evolución de determinados tratamientos, estudiar algunos daños o investigar desordenes como el pardeamiento enzimático (Quevedo *et al.*, 2009; Amodio *et al.*, 2011; Ebrahimi *et al.*, 2013).

Para el caso de la medida del color se suelen emplear colorímetros. Sin embargo, estos equipos tienen una serie de limitaciones como un área de medida reducida y dificultad para medir de una forma precisa el color en aquellas zonas donde este no es homogéneo, ya que proporcionan un único dato que integra el color de toda la superficie medida. Una alternativa a estos equipos es el uso de cámaras capaces de capturar imágenes de las muestras que se desean medir (Vidal *et al.*, 2013). La gran ventaja de las cámaras frente a los colorímetros es la capacidad de capturar imágenes de áreas relativamente grandes y poder diferenciar colores en zonas variegadas. Pero el uso de estas cámaras no está exento de problemas que se deben tener en cuenta ya que el color medido depende del dispositivo, por lo que es importante adquirir siempre imágenes de referencias certificadas de color (Mendoza *et al.*, 2006). Por otra parte, las cámaras, y equipos informáticos en general, capturan las imágenes en coordenadas de color RGB (rojo, verde, azul) que no es un espacio de color perceptual, lo que quiere decir que las diferencias numéricas de color no se corresponden con las diferencias que percibe el ojo humano (Rajashekara *et al.*, 2010). Aunque el color de las imágenes se puede convertir para trabajar en espacios de color perceptuales, como por ejemplo el CIELAB (León *et al.*, 2006), esta conversión no está disponible en la mayoría de los

programas de tratamiento de imágenes y, aquellos que sí lo permiten, lo hacen sin dar a conocer las ecuaciones usadas para ello.

Food-ColorInspector es una herramienta software de libre acceso (<http://www.cofilab.com>) que permite el análisis del color y algunas propiedades externas en imágenes, especialmente de alimentos. Entre sus principales características está la de creación fácil y rápida de modelos de segmentación de imágenes en color a partir de una selección manual de las regiones de interés. A partir de la imagen segmentada se ofrece información del color de cada región y de cada objeto encontrado en diferentes espacios de color, así como otras características como el área, tamaño, etc. El modelo creado se puede guardar ser utilizado posteriormente para aplicarse en otras imágenes similares o incluso a lotes de imágenes contenidos en directorios de forma automática. Este trabajo muestra los fundamentos en los que se basa la aplicación y sus principales características.

Material y Métodos

Entrenamiento y obtención de las estadísticas de color

En un primer paso, el usuario define las clases en las que va a dividir el problema, que se corresponden con las regiones de interés de la imagen. Por ejemplo, para el caso de las frutas se pueden predefinir regiones correspondientes a diferentes colores de la piel, defectos o pedúnculo. La aplicación permite crear un modelo supervisado de clasificación de píxeles en esas clases predefinidas a partir de un conjunto representativo de imágenes de entrenamiento, lo que permite la segmentación de imágenes en color. Una vez cargada una imagen de entrenamiento, el usuario puede seleccionar pequeñas ventanas en las diferentes regiones de interés que se pretenden segmentar. Estas regiones de interés deben tener colores diferenciados que cubran la máxima variabilidad posible de color en la imagen. Cada vez que el usuario hace una selección de entrenamiento, las coordenadas de color RGB (rojo, verde, azul) de cada píxel en la ventana se almacenan junto a la clase asignada. Este proceso se repite tantas veces como se considere necesario hasta cubrir todas las posibles regiones de interés. Asimismo, para completar el entrenamiento se pueden utilizar diferentes imágenes antes de generar el modelo. La Figura 1 muestra la interfaz de usuario de Food-ColorInspector.

Una vez finalizado el entrenamiento, todas las coordenadas RGB seleccionadas se utilizan como variables independientes X para generar un modelo basado en Análisis discriminante bayesiano, donde la clase a la que pertenece cada vector de coordenadas RGB es la variable dependiente Y . El objetivo del modelo es predecir a que clase debe pertenecer cualquier posible valor de RGB. Para clasificar los píxeles se ha utilizado el teorema de Bayes, que expresa la probabilidad de que ocurra un suceso A , a partir de la certeza de un suceso B . En este caso, dado un vector de coordenadas de color RGB, se pretende conocer la probabilidad de que pertenezca a una de las clases predeterminadas.

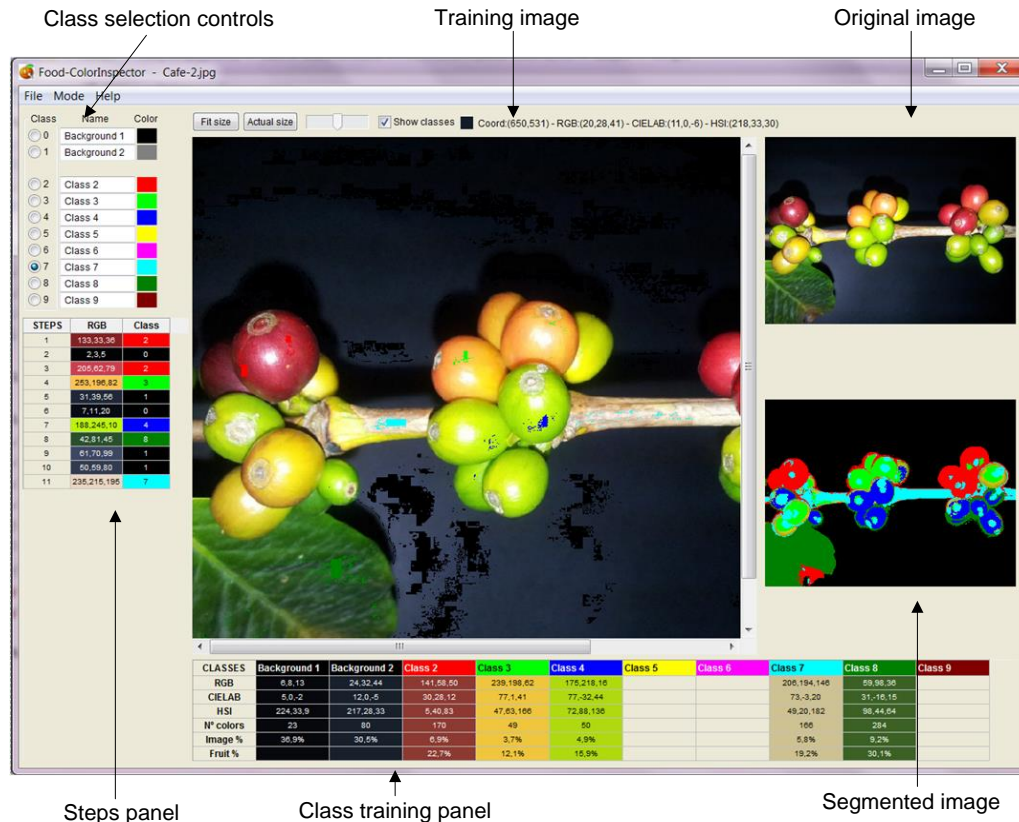


Figura 1. Interfaz de usuario de la aplicación Food-ColorInspector en modo entrenamiento

La aplicación muestra durante el proceso de entrenamiento información sobre el área y el color de las diferentes clases seleccionadas en diferentes espacios de color que incluyen el RGB, el HSI y el CIELAB. De esta forma es posible, por ejemplo, conocer el color medio y el área de distintas zonas de la piel de una fruta (zonas con colores diferentes), de los defectos que contiene o de algunas características como hojas, pedúnculo, etc. O el área que ha sufrido un pardeamiento enzimático y el color de la zona pardeada. Además, se muestra una vista previa interactiva de la segmentación resultante después de cada paso del proceso de entrenamiento, que incluye información sobre los colores y áreas de las diferentes regiones segmentadas. Dispone también de herramientas que permiten la asignación muy precisa de las diferentes regiones de interés a diferentes clases durante el proceso de entrenamiento, por ejemplo, mediante la selección de las regiones en un zoom de la imagen original, de una imagen de contornos obtenidos utilizando un filtro Sobel, o de una imagen que mezcla una transparencia de la imagen segmentada previamente con la original, lo que permite comprobar de forma muy precisa el resultado del entrenamiento se está realizando. Una vez completado el proceso de entrenamiento y obtenido el modelo de clasificación, este se almacena para que se pueda utilizar posteriormente con cualquier otra imagen.

CLASES	Background 1	Background 2	Piel roja	Piel amarilla	Piel verde
RGB	197,99,11	250,243,138	156,26,16	177,143,17	148,148,7
CIELAB	53,35,61	94,-12,52	34,51,43	61,2,64	59,-14,63
HSI	28,89,40	57,34,82	4,76,26	48,85,44	60,93,40
Nº colours	313	59	92	147	87
Image %	21,2%	0,8%	16,3%	15,8%	5,3%
Fruit %			20,9%	20,2%	6,8%

Figura 2. Detalle de la información de color y área para cada clase segmentada

Análisis de objetos y extracción de características

Una vez segmentada la imagen, es importante disponer de una descripción precisa y útil de los objetos encontrados, para ello la aplicación dispone de un modo de análisis de objetos. El primer paso es extraer los contornos de las regiones en la imagen segmentada, que se realiza aplicando un código de cadena (Freeman, 1961) sobre regiones 8-conecadas. A partir de los contornos extraídos se calculan algunas características de los objetos como el color promedio (en diferentes espacios de color), área (suma de píxeles pertenecientes al objeto), perímetro (recuento de píxeles del contorno), longitud, anchura, ejes de inercia, elongación, compacidad y redondez. Todas estas características se muestran en una tabla junto con el número del objeto. La Figura 3 muestra la interfaz del modo de análisis de objetos y extracción de características.

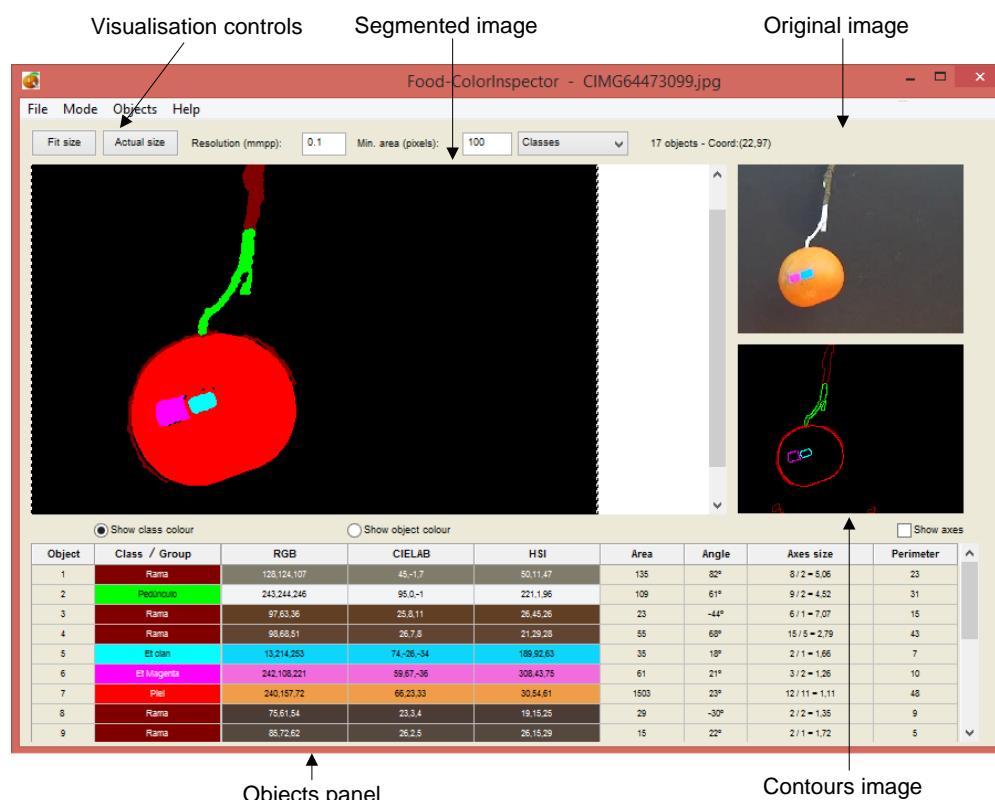


Figura 3. Interfaz de usuario de la aplicación Food-ColorInspector en modo de análisis de objetos

Para mejorar el rendimiento del modelo de segmentación, aquellos objetos que deben pertenecer a la misma región pero que tienen colores diferentes (por ejemplo distintas

zonas de piel sana de una fruta bicolor) se deben asignar a diferentes clases durante el proceso de entrenamiento. Sin embargo, durante el proceso de extracción de características se pueden agrupar diferentes clases como pertenecientes al mismo tipo de región de interés, lo que permite calcular el área de una fruta como la unión de todas las clases que pertenecen a la piel u obtener el área de cada una de las zonas de diferentes colores por separado (Figura 4). Para eliminar el ruido introducido por objetos muy pequeños, evitar falsas detecciones y facilitar la detección y clasificación de los objetos, se pueden aplicar filtros para excluir del análisis los objetos que no cumplen determinadas características como un tamaño reducido o excesivo, una determinada área, elongación o redondez.

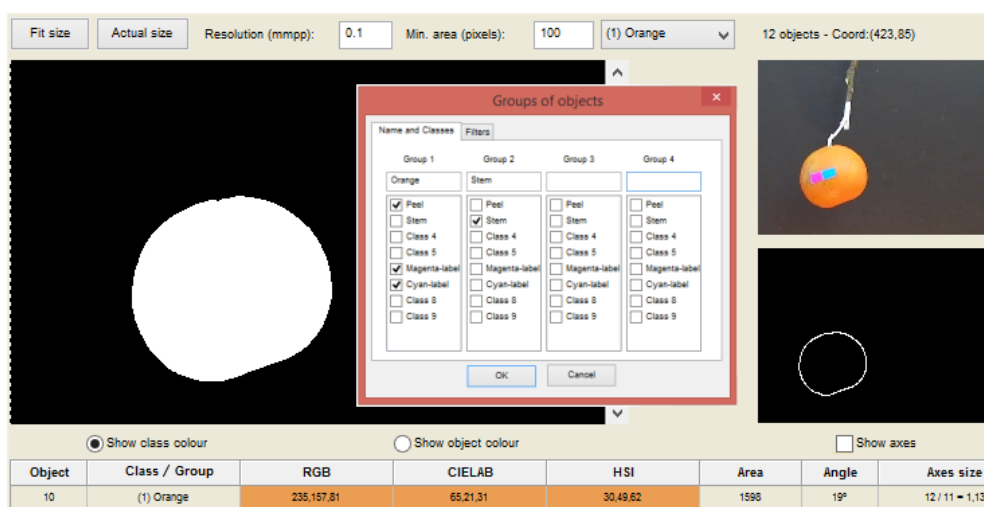


Figura 4. Objeto encontrado tras agrupar las clases consideradas como piel

Resultados y Discusión

Se ha desarrollado una herramienta para el análisis de imágenes capaz de proporcionar una inspección precisa y flexible de algunas propiedades externas de alimentos. La aplicación desarrollada ofrece una descripción detallada del color de los objetos y regiones de interés encontradas en las imágenes en tres espacios de color diferentes, además de proporcionar importante información sobre la forma y tamaño de los objetos. Al permitir agrupar diferentes clases como pertenecientes al mismo tipo de región se aumenta el rendimiento del clasificador al permitir discriminar mejor zonas con colores diferentes.

El modelo de segmentación creado a partir de la información de color se puede almacenar para su uso posterior con otras imágenes. De hecho, una característica importante es que, una vez creado el modelo de segmentación, se puede procesar un directorio entero de imágenes y obtener el resultado del análisis en una hoja de cálculo que incluye la información pormenorizada de cada objeto encontrado en cada imagen. Toda la información extraída de los objetos se puede exportar para su posterior análisis en un archivo compatible con otras aplicaciones estadísticas y hojas de cálculo más conocidas. La aplicación completa está disponible para su descarga libre en <http://www.cofilab.com>, junto con algunas bases de datos de imágenes caracterizadas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con fondos INIA a través de los proyectos de investigación RTA2012-00062-C04-01 y RTA2012-00062-C04-03, con fondos Europeos FEDER y con el acuerdo de colaboración UPV-IVIA (Ref.: UPV-2013000005). Carlos Bataller agradece la beca de formación número 8 del IVIA cofinanciada con fondos FSE de la Unión Europea. Sandra Munera agradece al INIA la beca FPI-INIA número 43 (CPR2014-0082) cofinanciada con fondos FSE de la Unión Europea y

Bibliografía

- Amodio, M.L., Colelli, G., Cabezas-Serrano, A.B., Peri, G., 2011. Post-cutting quality changes of fresh-cut artichokes treated with different anti-browning agents as evaluated by image analysis. *Postharvest Biol Tec* 62, 213-220.
- Blasco, J., Aleixos, N., Moltó, E., 2007. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm. *J Food Eng*, 81, 535–543.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., Blasco, J., 2011 Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food Bioprocess Tech*, 4, 487-504.
- Ebrahimi, M. A., Mohtasebi, S. S., Rafiee, S., Hosseinpour, S., 2013. Using online image processing technique for measurement the browning in banana during drying (a new and automatic method). *Agric Eng Int: CIGR Journal Open* 15, 220-227.
- Freeman, H., 1961. On the encoding of arbitrary geometric configurations. *IRE Transactions of Electronic Computers*, EC 10, 260-268.
- León, K., Domingo, M., Pedreschi, F., León, J., 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Res Int* 39, 1084 –1091.
- Lorente, D., Aleixos, N., Gómez-Sanchis, J., Cubero, S., García-Navarrete, O.L., Blasco, J. 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food Bioprocess Tech* 5, 1121-1142.
- Mendoza, F., Dejmek, P., Aguilera, J.M., 2006. Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biol Tec* 41, 285–295.
- Quevedo, R., Jaramillo, M., Díaz, O., Pedreschi, F., Aguilera, J.M., 2009. Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *J Food Eng* 95, 285–290.
- Rajashekara, U., Wangb, Z., Simoncelli, E.P., 2010. Perceptual Quality Assessment Of Color Images Using Adaptive Signal Representation. In *Proc. SPIE, Conf. On Human Vision And Electronic Imaging XV*, Vol.7527 San Jose, CA, USA.
- Vidal, A., Talens, P., Prats-Montalbán, J.M., Cubero, S., Albert, F., Blasco, J., 2013. In-line estimation of the standard colour index of citrus fruits using a computer vision system developed for a mobile platform. *Food Bioprocess Tech* 6, 3412-3419.

SESIÓN XI: TECNOLOGÍA DE POSTRECOLECCIÓN

TP01 - Desarrollo de una herramienta para el análisis de las temperaturas de prerrefrigeración y conservación óptimas de productos hortofrutícolas

Cervera Gascó, J.¹; Laserna Arcas, S.¹, Montero Martínez, J.¹, Moreno Hidalgo, M.A.¹

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Castilla La Mancha. Campus universitario s/n 02071, Albacete. España. Jorge.Cervera@uclm.es; santiago.laserna@uclm.es; jesus.montero@uclm.es; miguelangel.moreno@uclm.es

Resumen

El uso eficiente de la energía en la industria agroalimentaria es un objetivo fundamental, tanto desde el punto de vista económico por el incesante incremento del coste de la energía, como desde el punto de vista medioambiental por los objetivos de disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Ante el actual contexto energético, el presente estudio ha tenido como objetivo general desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el proceso de diseño y dimensionado óptimo de sistemas de refrigeración (hydrocooling y cámara de conservación) de frutas y verduras. Se busca minimizar el coste total del sistema (inversión y operación) prestando especial atención a la disminución del consumo energético, y por lo tanto, disminución de la huella de carbono del sistema. Se han aplicado a dos productos, cerezas y brócoli, con ubicaciones y fechas de recolección completamente distintas con el fin de verificar la utilidad de la herramienta. Los resultados obtenidos indican que se deben limitar más los valores de transferencia de calor, mereciendo la pena realizar una adecuada inversión en aislante teniendo en cuenta la situación energética actual. Respecto a la temperatura de cálculo tradicional de los 7/8 no resulta ser la más adecuada para la temperatura de salida del producto del hydrocooling. Además, se observa que la rentabilidad del hydrocooling se ve comprometida frente a subidas importantes en el precio de la energía. No obstante, el uso de la herramienta generada permite el análisis energético y de costes de inversión de materiales en cualquier situación dada, siendo aplicable para otro tipo de cultivos y localizaciones.

Palabras clave: Consumo energético, costes de inversión, Sistema de refrigeración.

Development of a DSS tool to analyze the optimal precooling and cooling temperatures for fruits and vegetables

Abstract

The efficient use of energy in the agri-food industry is a fundamental objective both from the point of view of economy, for the incessant increase in the cost of energy, and from the environmental point of view, for the purpose of decreasing the emission of greenhouse gases. In the actual energy context the main objective of this study was the development of a Decision Support System tool (DSS) for the optimal design and dimensioning of cooling systems (hydrocooling and cooling rooms) for vegetables and fruits. It seeks to minimize the total cost of the system (investment and operation) paying special attention to the reduction of energy consumption and therefore decreasing the carbon footprint of the process. Two cases were studied (cherries and broccoli) with completely different locations and harvesting dates with the aim of demonstrating the tool under different conditions. The results showed that limiting the heat transference values justifies the cost of investment in isolation under the current energy cost context. Regarding the traditional calculation temperature of 7/8 in precooling, it is not the most appropriate for the hydrocooling product outlet temperature. Furthermore, it is observed that the profitability of the hydrocooling is compromised with significant rises in the price of energy. However the use of this tool allows analysis of the energy costs and the investment costs of materials in any case study being applicable to other types of crops and locations.

Keywords: Energy consumption, investment costs, cooling systems.

Introducción

La gestión medioambiental, según los objetivos marcados de disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), tal y como establece el Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono y la gestión energética, teniendo en cuenta el incesante incremento del coste de la energía son dos aspectos clave para el desarrollo de las industrias agroalimentarias. Es importante identificar las fuentes de energía utilizadas en la industria agroalimentaria, las características técnicas de utilización, las implicaciones ambientales que conlleva, cuantificar los consumos energéticos y los posibles ahorros existentes con el fin de satisfacer los objetivos de ahorro y eficiencia energética en las industrias agroalimentarias. En este sentido, Masanet (2008) desarrolla una guía energética sobre la mejora de la eficiencia energética y ahorro de costes en el procesado de frutas y verduras.

En las centrales hortofrutícolas se requiere la máxima atención a las condiciones higiénico-sanitarias de los alimentos y en particular a los más perecederos. Aquí es muy importante el consumo energético necesario para la conservación de los productos. La cadena del frío se ha afianzado y en estos momentos nos parece algo normal y difícil de sustituir. En los últimos años ha sufrido cambios importantes y es de esperar que en los próximos continúe modificándose y adaptándose a las nuevas necesidades (Domínguez y García, 2002).

En este proceso, cabe prestar gran atención a la operación de la prerrefrigeración; ésta es una operación que se aplica normalmente antes del envasado de las frutas y hortalizas para la eliminación rápida del calor de campo (calor sensible) del producto fresco recolectado, para ralentizar el metabolismo y reducir el deterioro del producto antes del transporte o almacenamiento. Brosnan y Sun (2001) desarrollaron un estudio sobre las técnicas de preenfriado en los productos hortícolas para el mantenimiento de la calidad post-cosecha de los productos.

La prerrefrigeración puede realizarse con diferentes métodos (Melgarejo, 2000): cámaras de refrigeración, refrigeración con aire forzado, contacto con hielo, hydrocooling o refrigeración por agua, refrigeración por vacío (vacuum cooling) o refrigeración criogénica.

La selección del método más adecuado de prerrefrigeración depende de factores como: la naturaleza del producto, el requerimiento de empaquetado del producto, el flujo de producto en la planta, y lógicamente, consideraciones económicas (Brosnan y Sun, 2001).

El método de hydrocooling (con sistema tipo ducha), es uno de los que se utiliza con mayor frecuencia por la industria, siendo el más rápido y efectivo para los cultivos que se van a tener en cuenta en este estudio (cereza y brócoli). Produce una refrigeración homogénea en la totalidad del producto, proporciona a la fruta u hortaliza tratada un aspecto fresco limpio y turgente, lo que mejora su presentación comercial; también permite efectuar simultáneamente algún tratamiento germicida, añadiendo al agua el o los productos apropiados (bactericidas o fungicidas); reduce notablemente las pérdidas de peso debido a la brevedad y eficacia del proceso, pues no extrae agua de los tejidos vegetales, como ocurre con el enfriamiento por otros métodos como el aire y el vacío.

A nivel comercial se maneja el concepto de enfriamiento completo, que es el tiempo requerido por la fruta u hortaliza para alcanzar la temperatura deseada y poder transferirlas al almacén o al transporte. Los métodos tradicionales de dimensionamiento del sistema de prerrefrigeración están basados en el criterio de la TEMPERATURA DE 7/8, que hace referencia al tiempo requerido para que la temperatura inicial del producto disminuya 7/8 de la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la del medio de enfriamiento. Este concepto nos dice que conforme va disminuyendo la temperatura de los productos hortofrutícolas, la velocidad de enfriamiento disminuye y aunque se aumente el tiempo del proceso, el enfriamiento logrado ya no es significativo (Becker y Fricke, 2001).

Ante el actual contexto energético, el presente estudio ha tenido como objetivo general desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el proceso de diseño y dimensionado óptimo de sistemas de refrigeración (hydrocooling y cámara de conservación) de frutas y verduras. Se busca que el coste total del sistema (inversión y operación) se minimice, prestando especial atención a la disminución del consumo energético, y por lo tanto, disminución de la huella de carbono del sistema.

Material y Métodos

Datos de partida

Para la realización de este estudio se han planteado dos escenarios: una central frutícola de cereza y una central hortícola de brócoli. La elección de estos productos se ha debido a la diferente ubicación que presentan, a los efectos post-recolección que presentan y a la buena disponibilidad con los métodos empleados.

Para el caso de la cereza, la central se ha ubicado en la zona norte de la provincia de Alicante (Valle de Gallinera), donde el cultivo de la cereza está muy bien implantado. Esta zona es ideal, ya que dispone de un microclima idóneo para su cultivo. La campaña de recolección de la cereza empieza en esta zona a mediados de Abril y termina a mediados de Junio. Para el dimensionamiento de las instalaciones de refrigeración, la mayor cantidad de producto registrada en un día en cámara frigorífica es de 60.000 kg y el día con mayor entrada de producto en la industria es de 30.000 kg.

La central hortícola para el brócoli se ha localizado en la provincia de Albacete. La campaña de recolección del brócoli de segunda cosecha, va de mediados de agosto a finales de octubre. La mayor cantidad de producto registrada en un día en cámara frigorífica es de 95.000 kg y el día con mayor entrada de producto en la industria es de 45.000 kg.

Los datos de temperaturas medias diarias han sido obtenidos de las estación climáticas más cercanas a en las zona de cultivo tanto para la cereza (estación de Planes (Alicante), con coordenadas UTM X=729927, Y=4296220, altitud: 519 m) como para el brócoli (estación de Albacete, con coordenadas UTM X=599200, Y=4317150, altitud: 709 m).

Los sistemas de producción de frío empleados para el estudio constan de un sistema de prerrefrigeración mediante hydrocooling y un sistema de conservación con cámara frigorífica. Para la determinación de las temperaturas de prerrefrigeración y aislamiento

óptimos se ha establecido un valor medio de entrada del producto en la industria de 25°C.

El proceso seguido por el producto tras su entrada a la industria es que pase al hydrocooling, en envases de plástico de 5 kg, donde se preenfía bajando la temperatura a un determinado valor, y posteriormente el producto pasa a la cámara frigorífica (figura 1). La temperatura de conservación de la cereza en la cámara frigorífica se ha establecido en 6°C, y para el brócoli en 2°C.

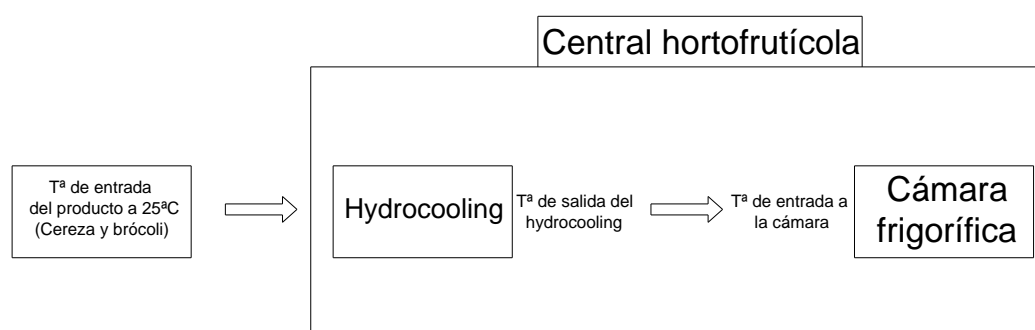


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso seguido por el producto.

Cálculo de la instalación frigorífica

La instalación frigorífica se ha calculado teniendo en cuenta los volúmenes mencionados anteriormente y características del producto, tales como el calor específico (0,87 y 0,92 kcal·kg⁻¹·°C⁻¹ para la cereza y brócoli, respectivamente) y el calor de respiración del producto (1,5696 y 0,7365 kcal·kg⁻¹·día⁻¹ para la cereza y brócoli, respectivamente).

Un resumen del proceso de cálculo seguido es el siguiente:

- Se han calculado las necesidades de aislante para todos los días de duración de la campaña de recolección, así como su potencia frigorífica, obteniéndose el dato más desfavorable y representativo con el que se dimensiona toda la instalación, realizando un análisis para diferentes valores de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo. Los espesores de aislante evaluados fueron los comerciales entre 60 y 200 mm.
- Mediante el dato de la potencia frigorífica, se ha calculado la instalación frigorífica por compresión mecánica desarrollándose una aplicación informática que determina las condiciones termodinámicas del líquido refrigerante (R404A en este caso) para cada condiciones del ciclo de refrigeración.
- Se han calculado los costes de aislante y de los equipos de producción de frío mediante la consulta de datos de la web, catálogos comerciales y empresas especializadas.
- El coste energético de conservación en la cámara frigorífica se ha calculado teniendo en cuenta un número de horas de funcionamiento máximo, establecido en 18 horas diarias, obteniendo las necesidades de potencia en kW·h diarias y analizando diferentes costes energéticos comprendidos entre los valores 0,2, 0,3 y 0,4 €·kW·h.

Cálculo del sistema de prerrefrigeración por hydrocooling

Para el caso del sistema de prerrefrigeración por hydrocooling, el método que se ha seguido es el propuesto por la fundación ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (Becker y Fricke, 2001). Este método se basa en el cálculo del tiempo de prerrefrigeración, el calor de refrigeración y el balance en el depósito de agua.

- El sistema de prerrefrigeración (Hydrocooling) se ha analizado mediante dos vías. La primera de ellas tiene en cuenta el método tradicional de la temperatura de los 7/8 y la segunda de ellas tiene en cuenta la temperatura comprendida dentro de un intervalo establecido, siendo su máximo valor la temperatura de llegada del producto y su mínimo el de conservación del producto.
- El coste energético para el sistema de prerrefrigeración se ha determinado mediante la obtención del número de cargas máximo según el número de horas de funcionamiento y el tiempo estimado del proceso para la temperatura que se quiera alcanzar. Esto permite obtener la carga del hydrocooling, dependiente de su capacidad y de la entrada de producto a la industria, para una temperatura a alcanzar dada y obteniendo el tiempo (t) empleado en realizar esa carga diaria.
- A partir del tiempo de funcionamiento diario y de la potencia calculada del compresor, se determina la energía necesaria.
- Según el coste de la energía (en este estudio 0,2, 0,3 y 0,4 €·kW⁻¹·h⁻¹) obtenemos el coste energético que se produce para cada día, e integrándolo en toda la campaña, el coste energético anual.

Anualización de la inversión

Para calcular los costes anuales, es preciso anualizar la inversión. La expresión utilizada para ello es el *Capital Recovery Factor* o Coste de Recuperación del Capital (CRF):

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (1)$$

Siendo N la vida útil considerada (20 años), e "i" la tasa de interés (0,05).

Coste anual de conservación del producto

Tras aplicar todo este proceso se calcula el coste anual total de conservación de los productos (cereza y brócoli) como la suma de los costes de inversión anualizados (del aislamiento y de los equipos de producción de frío, tanto para el hydrocooling como de la cámara frigorífica) más los costes energéticos de la prerrefrigeración y de conservación en la cámara.

Herramienta informática

Toda esta metodología de cálculo se ha implementado en una aplicación informática, de momento en EXCEL® (de Microsoft Inc.), pero se está programando en MATLAB® (de MathWorks Inc.), con el fin de que sea una herramienta fácil de manejar, versátil, en un entorno amigable, que permita analizar y optimizar el proceso de conservación por refrigeración de frutas y hortalizas, para cualquier producto, en cualquier localización y con diferentes condiciones de conservación.

Resultados y Discusión

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la determinación de los espesores de aislamiento óptimos y de las temperaturas de prerrefrigeración óptimas, indicando la disminución de costes por la aplicación del modelo comparado con el diseño tradicional.

Determinación de espesores de aislamiento óptimos

En el caso de la determinación de espesores de aislamiento óptimos para obtener el espesor económico, se han analizado los valores de pérdidas de calor en paredes, suelo y techo comprendidos entre 3 y 14 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ para la cereza y 3 y 16 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ para el brócoli. Se busca el valor óptimo de pérdidas de calor que minimiza el coste total (inversión y operación) de la cámara. Estos costes se han representado, de manera resumida, en la figura 2.

Los resultados obtenidos para la cereza mostraron un descenso continuo del coste de conservación en la cámara, para los diferentes valores del precio de la energía, conforme aumentan las pérdidas de calor por paredes, suelo y techo, desde 3 hasta 8 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ manteniéndose prácticamente constantes los costes hasta los 14 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Por tanto, se considera como óptimo contemplar unas pérdidas de calor para la cereza en las condiciones de estudio de 8 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

El mismo análisis se hace para el caso del brócoli, considerando óptimo un valor de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo de 9 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

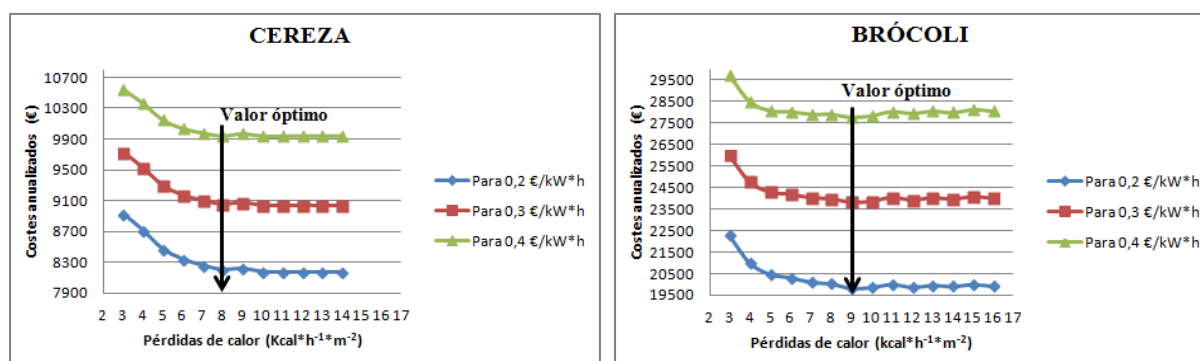


Figura 2. Valor óptimo de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo en cámara de conservación de cereza (izquierda) y de brócoli (derecha)

Determinación de las temperaturas de prerrefrigeración óptimas

Como se ha comentado en el apartado de metodología, el sistema consta de un sistema de prerrefrigeración mediante hydrocooling y un sistema de conservación con cámara frigorífica.

Buscando cual es la temperatura de prerrefrigeración óptima (t^a de salida del hydrocooling= t^a de entrada en la cámara de conservación) que minimiza el coste total de conservación de los productos, se ha aplicado el modelo.

Primero se han analizado los datos para la cámara de conservación con la temperatura más restrictiva de entrada de producto, es decir como si el producto al entrar en la industria pasa automáticamente a la cámara de conservación sin haber pasado previamente por un sistema de preenfriamiento (t^a de entrada= 25°C). De acuerdo a esta

premisa, se obtienen los costes de la cámara de conservación de todas las temperaturas que se encuentran dentro del rango de la temperatura de conservación de la cámara y la temperatura de entrada del producto. Realizando la misma operación para el hydrocooling comparamos los datos de los dos sistemas de refrigeración y analizamos los resultados.

En la figura 3 se ha representado, para el caso del brócoli, la evolución de los costes de inclusión, tanto del sistema de prerrefrigeración como del sistema de conservación, en función de la temperatura de prerrefrigeración o temperatura de entrada a la cámara. Se han marcado en la figura la situación de no hydrocooling, así como la temperatura con los costes mínimos y la temperatura de los 7/8, que en este caso corresponde a 4°C.

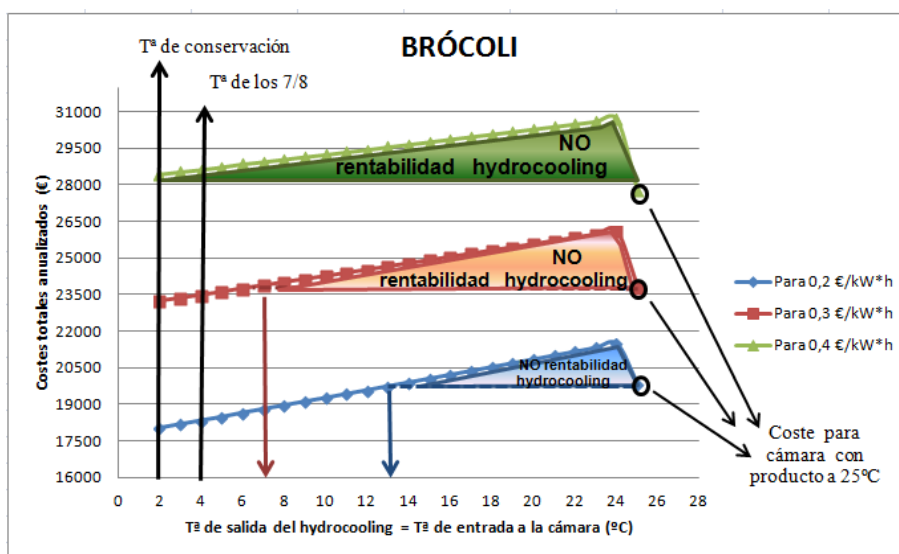


Figura 3. Análisis de las temperaturas óptimas de prerrefrigeración para el caso del brócoli

Los resultados generales obtenidos en el gráfico muestran que la temperatura más conveniente a la que hay que prerrefrigerar el producto para los diferentes precios de la energía estudiados es a la temperatura más baja, en este caso 2°C, de tal forma que se rentabilice el hydrocooling. No es recomendable hacerlo a la temperatura de los 7/8 (4°C).

Se comprueba cómo para un precio de la energía de 0,2 €·kW⁻¹·h⁻¹, el hydrocooling es rentable siempre que la temperatura de prerrefrigeración sea menor o igual a 13°C. Para temperaturas superiores los costes son superiores a la situación de no existencia de hydrocooling. Por otro lado, se comprueba cómo el coste mínimo no se obtiene con la temperatura de los 7/8, sino con la temperatura de conservación en la cámara de 2°C. Los ahorros obtenidos han sido de 352,5 € representando el 1,95% respecto al modelo tradicional.

Para el caso de 0,3 €·kW⁻¹·h⁻¹, al aumentar el precio de la energía limita las posibilidades de tener un sistema de preenfriado. Resulta rentable tener en nuestra instalación un hydrocooling hasta una temperatura de salida del hydrocooling y de entrada a la cámara de 6°C, ya que a partir de este valor no interesa tenerlo porque los costes son superiores a los de tener una cámara frigorífica únicamente. Los ahorros obtenidos han sido de 354,72 € representando el 1,50 % respecto al modelo tradicional.

Para el caso de $0,4 \text{ €} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, al aumentar mucho el precio de la energía, no resulta rentable tener en la instalación un sistema de preenfriado (Hydrocooling), ya que para cualquier temperatura de prerrefrigeración se supera los costes respecto a tener una cámara frigorífica únicamente.

Al igual que se ha hecho para el brócoli, en la figura 4 se ha representado para el caso de la cereza, la evolución de los costes de inclusión tanto del sistema de prerrefrigeración como del sistema de conservación, en función de la temperatura de entrada a la cámara. Para este producto, la temperatura de los 7/8 corresponde a $8,4^{\circ}\text{C}$.

Los resultados generales obtenidos en el gráfico muestran que la temperatura más conveniente a la que hay que prerrefrigerar el producto para los diferentes precios de la energía estudiados es a la temperatura más baja, en este caso 6°C , de tal forma que se rentabilice el hydrocooling. No es recomendable hacerlo a la temperatura de los 7/8 ($8,4^{\circ}\text{C}$).

Para un precio de la energía de $0,2 \text{ €} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, el hydrocooling es rentable siempre que la temperatura de prerrefrigeración sea menor o igual a 12°C . El coste mínimo no se obtiene con la temperatura de los 7/8, sino con la temperatura de conservación en la cámara de 6°C . Los ahorros obtenidos han sido de 172 € representando el 2,2 % respecto al modelo tradicional.

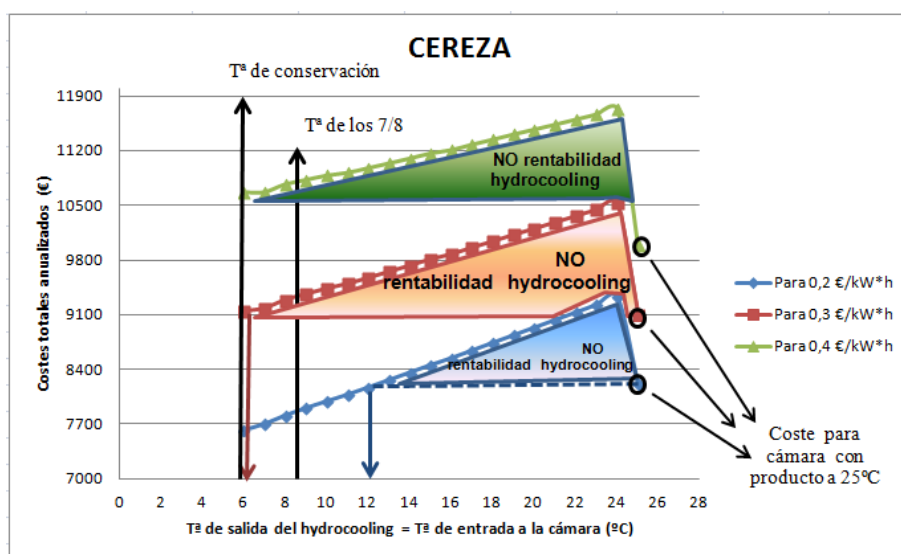


Figura 4. Análisis de las temperaturas óptimas de prerrefrigeración para el caso de la cereza

Para el caso de $0,3 \text{ €} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, se podría prescindir de tener el sistema de preenfriado, ya que prácticamente el coste se iguala con el de la cámara frigorífica. Pero dadas las circunstancias y puestos a realizar la inversión, ya que el coste es prácticamente el mismo con o sin hydrocooling se recomendaría tener un sistema de preenfriado, ya que los beneficios que aporta un sistema de preenfriado no los puede aportar una cámara de conservación como puede ser el preenfriamiento del producto en pocos minutos (eliminación del calor de campo) mientras que la cámara de conservación no presenta esta ventaja. Los ahorros obtenidos han sido de 140 € representando el 1,50 % respecto al modelo tradicional.

Para el caso de $0,4 \text{ €/kW} \cdot \text{h}^{-1}$, al aumentar mucho el precio de la energía, no resulta rentable tener en la instalación un sistema de preenfriado (hydrocooling), ya que para cualquier temperatura de prerrefrigeración se supera los costes respecto a tener una cámara frigorífica únicamente.

Lo anteriormente descrito nos indica que los costes de equipos de cámara frigorífica son muy altos. También hay unas demandas altas de energía tanto en el sistema de preenfriado como en la cámara frigorífica. Conforme el precio de la energía aumenta, los costes de la energía en los dos sistemas de producción de frío superan ampliamente los costes de equipos y los otros costes con una subida muy pronunciada.

Este comportamiento se justifica puesto que el sistema hydrocooling consume una gran cantidad de energía para extraer el calor necesario del producto para llevarlo a una temperatura adecuada para su almacenamiento en un tiempo muy reducido, con el consiguiente beneficio de cara a la calidad del producto. La cámara conlleva un elevado coste de inversión, pero en el caso de tener que enfriar el producto desde la temperatura de entrada hasta la de conservación, el tamaño de los equipos de refrigeración se incrementaría elevando el coste en equipos.

Así, el coste energético es una variable clave al analizar la viabilidad de inclusión de un sistema de prerrefrigeración. En caso del coste energético actual, que se puede estimar en $0,2 \text{ €/kW} \cdot \text{h}^{-1}$, es aconsejable contar con un hydrocooling, de forma que la inversión en este equipo, se pueda ver compensada con la menor inversión en equipos en la cámara. Además, el producto se enfría de forma rápida mejorando su calidad de almacenamiento.

Sin embargo, cuando se incrementa el coste energético ($0,3\text{-}0,4 \text{ €/kW} \cdot \text{h}^{-1}$) la viabilidad de instalación de este tipo de equipo de prerrefrigeración se ve comprometida, ya que al enfriar en un periodo de tiempo muy corto, el consumo energético es elevado, y por lo tanto su coste.

En caso de disponer de sistemas hydrocooling, la opción más económica, en cualquier caso, es llevar el producto hasta la temperatura de conservación en cámara, y no como se venía haciendo hasta ahora de considerar la temperatura de $7/8$. Es decir, que es preferible, una vez decididos a hacer la inversión en este tipo de sistemas, disponer de un hydrocooling potente que permita disminuir la temperatura del producto hasta la de conservación.

Conclusiones

La herramienta desarrollada ha resultado muy útil en cuanto a los objetivos planteados y se han obtenidos resultados muy positivos y concluyentes acerca del comportamiento de los sistemas de frío analizados, por una parte con un sistema de preenfriado (hydrocooling) previo a la entrada de producto a la cámara de conservación, y de la propia cámara de conservación. El modelo es aplicable a cualquier producto hortofrutícola que necesite refrigeración, y para cualquier localización.

En primer lugar, se ha puesto de manifiesto que es esencial hacer un análisis exhaustivo para determinar las pérdidas de calor por paredes suelo y techo, considerando no sólo los aspectos de inversión, sino los derivados del consumo de

energía. En los casos estudiados, ha resultado óptimo contemplar unas pérdidas de calor por paredes, suelos y techo alrededor de $8\text{-}9 \text{ kcal}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Se ha estudiado la rentabilidad de tener un sistema de preenfriado, en este caso un hydrocooling, en la instalación. El sistema de preenfriado demanda unas elevadas cantidades de energía, por tanto ante subidas importantes en el precio de la energía, no resulta rentable. Si la subida del precio de la energía no es muy elevada puede resultar rentable aunque es recomendable realizar un estudio previo. En todo caso, es necesario realizar una proyección de la evolución del precio de la energía durante la vida útil del proyecto para tomar decisiones sobre este aspecto.

Se ha observado que el método tradicional de cálculo de la temperatura de salida del hydrocooling, los 7/8, no es la más adecuada, ya que es preferible que la temperatura de salida del hydrocooling sea la de conservación en cámara, de tal forma que el hydrocooling trabaje al máximo posible para bajar la temperatura del producto desde su entrada hasta la de conservación en la cámara frigorífica. De este modo evitaremos el sobredimensionado de los equipos de la cámara.

Aunque en la comparación del diseño tradicional con el optimizado no se han encontrado ahorros totales importantes en los casos estudiados, es previsible que estos ahorros sean mayores en casos en los que el producto se almacene refrigerado durante los meses de mayores temperaturas.

No se han considerado los beneficios obtenidos al instalar un sistema de prerrefrigeración derivados del incremento de la calidad del producto, lo que en muchas ocasiones determina el requerimiento de este tipo de sistemas. En todo caso, con este estudio se puede determinar la temperatura óptima de prerrefrigeración en estos casos.

Bibliografía

- Becker, B.R. y Fricke, B.A., 2001. Hydrocooling time estimation methods. Mechanical Engineering. University of Missouri-Kansas City.
- Brosnan, T. y Sun, D., 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products - A review. International Journal of Refrigeration, 24(2):154-170
- Domínguez, M., García, C., 2002. La distribución a temperatura controlada de productos perecederos en Europa. Alimentación nº 169, 45-48.
- Melgarejo, P., 2000. Cámaras frigoríficas y túneles de enfriamiento rápido. Ed. AMV.
- Masanet, E., 2008. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Fruit and Vegetable Processing Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California.

TP02 - Medición no destructiva del índice de madurez en mango 'Osteen' usando técnicas de espectroscopía de infrarrojo cercano

Cortés, V.¹; Ortiz, C.²; Aleixos, N.³; Blasco, J.⁴; Cubero, S.⁴; Talens, P.¹

¹Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), viccorl3@doctor.upv.es, pautalens@tal.upv.es

²Departamento de ingeniería rural y agroalimentaria. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), cortiz@dmta.upv.es

³Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (Spain), naleixos@labdesign.i3bh.es

⁴Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera km. 4.5, 46113, Moncada, Valencia (Spain), jblasco.ivia@gmail.com, cubero_ser@gva.es

Resumen

El mango es una fruta tropical de alto valor añadido, cuyas previsiones futuras apuntan a una expansión de mercado. En los últimos años la industria ha despertado un interés creciente por determinar su calidad mediante técnicas no destructivas. En esta investigación, 140 mangos de la variedad 'Osteen' recolectados en un cultivo comercial en Málaga (España) con aproximadamente 8 °Brix, se distribuyeron en siete lotes y se almacenaron en condiciones de humedad y temperatura controladas. A distintos tiempos de almacenamiento, la fruta seleccionada se evaluó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) en modo de reflectancia mediante dos detectores, uno sensible en el rango VIS-NIR (595-1100 nm) y otro sensible en el rango NIR (888-1795 nm). Se analizó mediante métodos tradicionales destructivos su firmeza, acidez titulable y contenido en sólidos solubles, y se estableció un índice de madurez (RPI, Ripening Index) en base a dichos parámetros. Se desarrollaron dos modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) para establecer la relación entre los espectros y el RPI. Con el 75% de las muestras se estableció un conjunto de calibración, obteniéndose un R^2 en el modelo de 0,922 con el detector VIS-NIR y de 0,931 con el detector NIR. Con el 25% restante se validó el modelo, obteniéndose buenos resultados en la predicción de la madurez de las muestras ($R^2=0,853$ para VIS-NIR y $R^2=0.886$ para NIR). Los resultados son prometedores para la posible integración de esta tecnología en líneas de confección de mango como un sistema capaz de garantizar la calidad del producto.

Palabras clave: calidad, poscosecha, fruta, NIR.

Non-destructive measurement of ripening index of mango 'Osteen' using NIR spectroscopy techniques

Abstract

Mango is a tropical fruit with high added value, whose future projections indicate to an expanding market. In the last few years, the industry has attracted increasing interest in determining its quality through non-destructive techniques. In this research, a total of 140 units of mango 'Osteen' variety collected from a commercial orchard in Málaga (Spain) with approximately 8 °Brix, were divided into seven lots, and stored under controlled conditions of temperature and humidity. At different storage intervals, the selected fruit was assessed by near infrared spectroscopy (NIRS) in reflectance mode using two detectors, one with sensitivity in VIS-NIR range (595-1100 nm) and another with sensitivity in NIR range (888-1795 nm). Firmness, titratable acidity and soluble solids content were analyzed using traditional destructive methods, and ripening index (RPI) was established based on these parameters. Two regression models were developed by partial least squares (PLS) to establish the relationship between the spectra and the RPI. A 75% of the samples formed a set of calibration, obtaining a R^2 0.922 with the VIS-NIR detector and 0.931 with the NIR detector. With the remaining 25% the model was validated with good results in the prediction of maturity of the samples ($R^2=0.853$ for VIS/NIR and $R^2=0.886$ for NIR). The results

are promising for the possible integration of this technology in mango electronic sorters as a system to ensure product quality.

Keywords: quality, postharvest, fruit, NIR.

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical con una fuerte demanda y alto valor añadido en el mercado mundial (Schmilovitch *et al.*, 2000), por lo que garantizar su calidad en el suministro es de gran importancia. Se produce en alrededor de 90 países en el mundo, siendo uno de ellos España, que actualmente dedica una superficie total de producción de 3281 ha. Para los próximos años se espera un descenso de la exportación de Brasil, uno de los principales competidores con el mango español así como un aumento de producción en España debido a la excelente adaptación climática que está teniendo en las zonas de Andalucía y Canarias.

Actualmente, los consumidores demandan productos de alta calidad y basan sus decisiones de compra en algunas propiedades externas como firmeza, color, brillo o aroma, que asocian con el grado de madurez. Por ello, recolectar la fruta con un grado apropiado de maduración es muy importante. Generalmente, el mango se recolecta en fase verde pero fisiológicamente maduro, lo que le permite alcanzar una calidad de consumo superior que aquellos recolectados inmaduros y que no llegan a alcanzar su madurez óptima. En la actualidad, la determinación de la madurez se lleva normalmente a cabo midiendo algunas propiedades internas como firmeza, acidez, contenido en azúcares o en carotenoides. Estas medidas se realizan mediante laboriosas técnicas destructivas que requieren personal capacitado y convierten la fruta en inutilizable. Un avance importante en este sentido es la automatización de los procesos de inspección empleando sistemas no destructivos. Entre las técnicas más estudiadas se encuentra la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS), que permite determinar constituyentes químicos o atributos de calidad de productos agrícolas (Nicolai *et al.*, 2007). Este método no destructivo se ha utilizado, por ejemplo, para evaluar la calidad de frutas frescas como cítricos (Magwaza *et al.*, 2012), mango (Theanjumol *et al.*, 2013; Watanawan *et al.*, 2014), pera (Machado *et al.*, 2012), manzana (Jha y Garg, 2010) o banana (Jaiswal *et al.*, 2012). Los análisis de los espectros adquiridos en el infrarrojo cercano (NIR) proporcionan determinaciones cualitativas de compuestos tales como azúcares, agua y clorofila, entre otros.

El objetivo del presente estudio fue evaluar de forma no destructiva el índice de madurez del mango 'Osteen' usando técnicas espectrométricas en el rango VIS-NIR. Para ello, se evaluaron los espectros VIS-NIR de los mangos y se establecieron relaciones entre éstos y el índice de madurez (RPI) de las frutas.

Material y Métodos

Material vegetal

Un total de 140 mangos (*Mangifera indica* L., cv 'Osteen') cultivados en la provincia de Málaga (España), se recolectaron manualmente en base a un tamaño y color uniforme, libres de manchas e infecciones externas.

Todos los mangos se lavaron con una solución jabonosa preparada con dos gotas de lavavajillas por litro de agua y se secaron con papel absorbente para eliminar

completamente el agua de su superficie. Más tarde se numeraron individualmente y se dividieron de forma aleatoria en siete lotes de 20 mangos cada uno (A, B, C, D, E, F y G). Se almacenaron todos los lotes durante 24 horas en una cámara frigorífica (11.9 ± 0.4 °C y $84.3 \pm 1.7\%$ de humedad relativa) hasta comenzar los análisis espectrofotométricos. A partir de esas 24 horas se analizaron los frutos del lote A, y los lotes restantes se colocaron en una cámara de almacenamiento a 18.0 ± 2.1 °C y $67.6 \pm 3.3\%$ de humedad relativa y se analizaron en intervalos de 48 horas. De cada lote se analizaron primero sus propiedades espectroscópicas en la región VIS-NIR y después sus propiedades mecánicas mediante un ensayo de punción y su composición interna (°Brix y acidez).

Instrumentación NIR

Los espectros se midieron en modo reflexión utilizando un espectrómetro multicanal (AVS-DESKTOP-USB2, Avantes BV, The Netherlands) equipado con dos detectores, uno sensible en la región VIS-NIR entre 595 y 1100 nm y otro en la región NIR entre 888 y 1795 nm (AvaSpec-ULS2048-USB2-RM y AvaSpec-NIR256-1.7-RM, Avantes BV, The Netherlands), una fuente de iluminación halógena de tungsteno (AvaLight-HAL-S, Avantes BV, The Netherlands) y una sonda de reflexión (FCIR-7IR200-2-45-ME, Avantes BV, The Netherlands).

Cada fruta se midió cinco veces utilizando el programa AvaSoft 7.2 del mismo fabricante y las lecturas se promediaron automáticamente para cada señal del espectro. Se fijó un tiempo de integración de 90 ms para el detector sensible en la región VIS-NIR y de 700 ms para el detector sensible en la región NIR. Las calibraciones se realizaron con una referencia blanca. Los datos espectrales medidos en porcentaje de reflexión se transformaron en valores de absorbancia.

Determinación de los parámetros físico-químicos

Con el fin de evaluar la firmeza y la madurez de los mangos, se evaluaron las propiedades mecánicas y la composición interna. Dichos análisis se llevaron a cabo inmediatamente después de las mediciones de los espectros NIR.

Las propiedades mecánicas se analizaron a través de un ensayo de punción mediante una prensa universal (TextureAnalyser-XT2, Stable MicroSystems (SMS), Haslemere, England) con un punzón de 6 mm de diámetro (P/15ANAMEsignature) hasta que se alcanzó una deformación relativa del 30% a una velocidad de 1 mm/s, por triplicado para cada muestra. Para cada muestra se determinaron la fuerza de fractura (F), la deformación en el punto de fractura (D_F) y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura.

La composición interna se analizó a través de los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (TA) de las muestras. Se determinó el contenido de SST por refractometría (°Brix) con un refractómetro digital (set RFM330+, VWR International Eurolab S.L, Barcelona, España) a 20 °C y con una sensibilidad de $\pm 0,1$ °Brix. El análisis de TA se realizó con un titulador automático (CRISON, pH-bureta 24, Barcelona, España) con NaOH 0,5 N hasta un pH de 8,1 siguiendo la norma UNE34211:1981 (AENOR, 1981), utilizando 15 g de mango triturado y diluyéndolo en 60 ml de agua destilada. La TA se determinó en base al porcentaje de ácido cítrico calculado mediante la Ecuación (1).

$$\text{Acidez [g ácido cítrico/100g muestra]} = \frac{(A \times B \times C / D) \times 100}{E} \quad (1)$$

donde A es el volumen de NaOH consumido en la titulación (en L), B es la normalidad de NaOH (0,5 N), C es el peso molecular del ácido cítrico (192,1 g/mol), D es el peso de la muestra (15 g) y E es la valencia del ácido cítrico (E=3).

Se calculó un índice de madurez (RPI), tal como describieron Vélez-Rivera *et al.* (2014), mediante la Ecuación (2).

$$RPI = \ln(100 \cdot F \cdot \frac{TA}{TSS}) \quad (2)$$

donde F es la firmeza (N), TA es la acidez (g ácido cítrico/100 g de muestra) y TSS son los sólidos solubles totales (°Brix).

Análisis de los datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre los análisis físico-químicos realizados a los diferentes lotes usando el software Statgraphics Plus para Windows 5.1 (Manugistics Corp., Rockville, Md., EE.UU.).

Por otro lado, los espectros y los datos obtenidos de los análisis físico-químicos se estructuraron en una matriz donde las filas representaban las 140 muestras y las columnas representaban el número de variables (las variables proporcionadas por los espectros VIS-NIR y las variables proporcionadas por los análisis físico-químicos). Se desarrollaron dos modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) utilizando el programa estadístico The Unscrambler® (CAMO, Oslo, Norway), para predecir el RPI en base a las medidas espectrales VIS-NIR. La técnica PLS es particularmente útil cuando es necesario predecir un conjunto de variables dependientes a partir de un conjunto de variables independientes (Abdi, 2010). La variable dependiente (Y) representaba el RPI calculado en base a las propiedades físico-químicas analizadas, mientras que los espectros VIS-NIR representaban las variables independientes (X). Las muestras se separaron aleatoriamente en dos grupos, un grupo de 105 muestras se utilizó para el desarrollo y evaluación del modelo mediante validación cruzada, mientras que las 35 muestras restantes se utilizaron como conjunto independiente de predicción. El rendimiento de los modelos se evaluó usando el error estándar de calibración (SEC), el error estándar de la validación cruzada (SECV), el error de la raíz cuadrada de la media de la calibración (RMSEC), la raíz media del error cuadrado de la validación cruzada (RMSECV), el coeficiente de determinación (R^2) y el número de variables latentes requeridas (#LV).

Resultados y Discusión

Análisis físico-químicos

La Tabla 1 muestra las características físico-químicas (propiedades mecánicas, sólidos solubles y acidez titulable) de los mangos durante el periodo de almacenamiento. Tal y como se esperaba, durante el proceso de maduración se observó una pérdida de firmeza de los mangos. Durante el almacenamiento, la fuerza de fractura y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura disminuyeron, mientras que la deformación en el punto de fractura aumentó. Estos cambios pueden deberse a un aumento de la

actividad enzimática en el fruto que provoca cambios en la integridad estructural de la pared celular y lamela media, tal y como describieron Yashoda *et al.* (2007). Durante el reblandecimiento de la fruta, las paredes celulares son modificadas por solubilización, de-esterificación y despolimerización, acompañado de una extensa pérdida de azúcares neutros y ácido galacturónico (Singh *et al.*, 2013).

Tabla 1. Características físico-químicas de los mangos durante el periodo de almacenamiento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	Propiedades mecánicas			Composición interna	
	<i>F (N)</i>	<i>D_F</i>	<i>Pendiente (N/mm)</i>	<i>TSS(°Brix)</i>	<i>TA (g/100g)</i>
Lote A	105±8 ^a	7±3 ^a	18±2 ^a	8±1 ^a	0,49±0,09 ^a
Lote B	97±19 ^{a,b}	7±1 ^a	15±4 ^b	12±2 ^b	0,55±0,13 ^a
Lote C	100±30 ^{a,b}	8±1 ^{a,b}	14±5 ^b	12±3 ^{b,c}	0,50±0,09 ^a
Lote D	90±25 ^{b,c}	9±1 ^b	11±4 ^c	14±2 ^{c,d}	0,67±0,11 ^b
Lote E	77±25 ^c	10±1 ^c	8±4 ^d	15±2 ^{d,e}	0,67±0,15 ^b
Lote F	40±17 ^d	10±2 ^c	4±2 ^e	16±2 ^e	0,26±0,12 ^c
Lote G	24±6 ^e	10±2 ^c	2±1 ^e	18±1 ^f	0,12±0,03 ^d

Los valores son la media ± SD.

^{a-f} Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre los lotes (p < 0.05).

Otros cambios en la composición interna de la fruta que se observaron durante el tiempo de almacenamiento fueron el aumento del contenido en sólidos solubles y la disminución de la acidez titulable (Tabla 1). Generalmente, el contenido en sólidos solubles en mango presenta un rango entre 7,0 a 17,4 °Brix, dependiendo de la variedad, su lugar de producción y su estado de madurez (Lucena *et al.*, 2007). Para la variedad ‘Osteen’, los frutos alcanzan la etapa de máxima aceptabilidad por el consumidor cuando presentan alrededor de 14 a 15 °Brix (Vilela *et al.*, 2013). En este experimental, los mangos presentaron en el momento de realizar las medidas una graduación entre 5,85 y 19,5 °Brix. De acuerdo con estos valores, los mangos del lote A podían clasificarse como mangos verdes y los del lote G como mangos sobremaduros, mientras que los mangos de los lotes B, C, D, E y F presentaban una madurez intermedia.

La acidez titulable del mango varió desde 0,970 a 0,007 g/100 g de muestra. Yashoda *et al.*, (2007) observaron valores similares para la variedad ‘Alphonso’. La disminución de la acidez titulable durante el proceso de maduración puede deberse a la metabolización celular de los ácidos orgánicos volátiles y no volátiles.

Los valores del RPI disminuyeron con el tiempo de almacenamiento (Tabla 2) tal y como encontraron Vélez-Rivera *et al.* (2014) para el caso de mango ‘Manila’. Con estos valores, se pudo identificar tres fases de madurez en base al parámetro RPI: mangos

verdes (lote A), mangos de madurez intermedia (lotes B, C, D, E y F) y mangos sobremaduros (lote G).

Tabla 2. Valores medios y desviación de RPI para los distintos lotes de mangos.

	<i>Lote A</i>	<i>Lote B</i>	<i>Lote C</i>	<i>Lote D</i>	<i>Lote E</i>	<i>Lote F</i>	<i>Lote G</i>
<i>RPI</i>	6,5±0,2 ^a	6,1±0,4 ^b	5,9±0,6 ^b	6,0±0,5 ^b	5,8±0,6 ^b	4,0±0,7 ^c	2,7±0,4 ^d

Los valores son la media ± SD.

^{a-f} Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencias significativas entre los lotes (p < 0.05).

Análisis espectros NIR

Las curvas espectrales mostraron diferencias en las zonas del espectro entre 595-1100 nm y 888-1750 nm en los distintos periodos de almacenamiento (Figura 1) debido a las diferentes características de transmisión de los mangos respectivamente dentro del rango de madurez estudiado (Jha *et al.*, 2012). Estas diferencias podrían ser debidas a los cambios en los contenidos de humedad o de sólidos solubles totales durante el almacenamiento del mango, así como cambios de color. Las curvas espectrales para los diferentes lotes de maduración siguen un patrón similar. Es posible identificar picos característicos a diferentes bandas, como por ejemplo alrededor de 670nm, se observa un pico que puede estar relacionado con el contenido en clorofila de la fruta el cual tiene una fuerte correlación inversa con el contenido en azúcar cuyos picos se identifican alrededor de 1200 y 1440nm. Otro pico indicativo es el correspondiente al contenido en agua cercano a los 970nm, el cual aunque en menor medida también puede apreciarse en la figura 1(a). En general se observa que a medida que avanza el proceso de maduración el pico de 670 nm disminuye, posiblemente debido al aumento del contenido en β-carotenos y xantofilas en la epidermis de aquellos mangos más maduros (Vélez-Rivera *et al.*, 2014), mientras que los picos a 1200 y 1440nm aumentan debido al incremento en el contenido en sólidos solubles de la fruta. Variaciones similares también han sido determinadas en otros estudios trabajando con mangos y en modo reflectancia (Mahayothé *et al.*, 2004), así como con otras frutas (Jha y Garg, 2010).

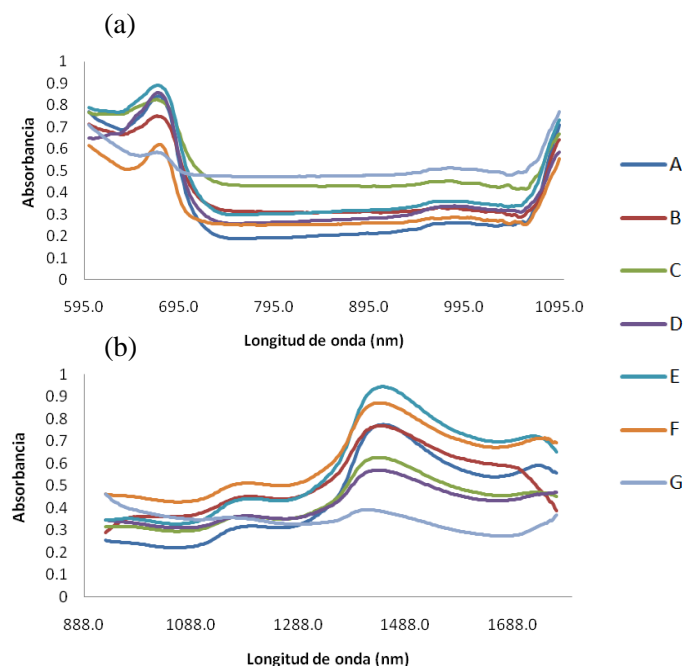


Figura 1. Espectros típicos para los diferentes lotes de madurez del mango en el rango de longitud de (a) 595-1100 nm (VIS-NIR) y (b) 888-1795 nm (NIR).

Correlación entre los espectros NIR y las características físico-químicas de los mangos

Con el fin de ver si los espectros en el rango VIS-NIR y en el rango NIR son capaces de predecir el estado de madurez de los mangos, se desarrollaron dos modelos mediante PLS para obtener la correlación entre el ensayo no destructivo y las características físico-químicas extraídas de los análisis destructivos. En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestra el SEC, SECV, RMSEC, RMSECV, R^2 y #LV para el RPI en ambos modelos, respectivamente.

Los resultados observados en ambos modelos PLS para el RPI mostraron valores bajos de SEC, SECV, RMSEC y RMSECV, y altos valores de R^2 , lo que se traduce en un buen rendimiento de ambos modelos. La validación cruzada se obtuvo mediante la extracción de un conjunto de factores ortogonales o variables latentes (#LV). Para el detector VIS-NIR se obtuvieron 9 variables y para el detector NIR 13 variables latentes.

Tabla 3. Resultados de los modelos PLS para la calibración y validación cruzada para el detector VIS-NIR.

		CALIBRACIÓN			VALIDACIÓN CRUZADA		
<i>n</i>	#LV	R^2	RMSEC	SEC	R^2	RMSECV	SECV
105	9	0,922	0,388	0,390	0,878	0,490	0,492

Tabla 4. Resultados de los modelos PLS para la calibración y validación cruzada para el detector NIR.

CALIBRACIÓN					VALIDACIÓN CRUZADA		
<i>n</i>	#LV	R^2	RMSEC	SEC	R^2	RMSECV	SECV
105	13	0,931	0,359	0,361	0,871	0,496	0,498

Cuando se utilizaron los modelos para predecir las 35 muestras restantes (Tabla 5), se observó que las predicciones también eran altas. El coeficiente de determinación entre los valores espectrales y los valores de RPI fue de 0,854 y de 0,886 con un error estándar de predicción de 0,478 y 0,440 para los detectores sensibles en el rango VIS-NIR y NIR respectivamente. Estos resultados indican que hay buenas correlaciones entre las mediciones espectrales y los análisis destructivos.

Tabla 5. Resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores.

DETECTOR	<i>n</i>	R^2	RMSEP	SEP	BIAS
VIS-NIR	35	0,854	0,481	0,478	-0,099
NIR	35	0,886	0,447	0,440	0,108

La Figura 2 muestra los resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores. Dicha figura muestra la eficiencia de los modelos PLS para la predicción del RPI. El RPI combina los valores de firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales. En ambas figuras, el eje de ordenadas y de abscisas representan los valores ajustados predichos y medidos respectivamente. La correlación entre los valores medidos y predichos para cada parámetro muestra un buen rendimiento de la predicción.

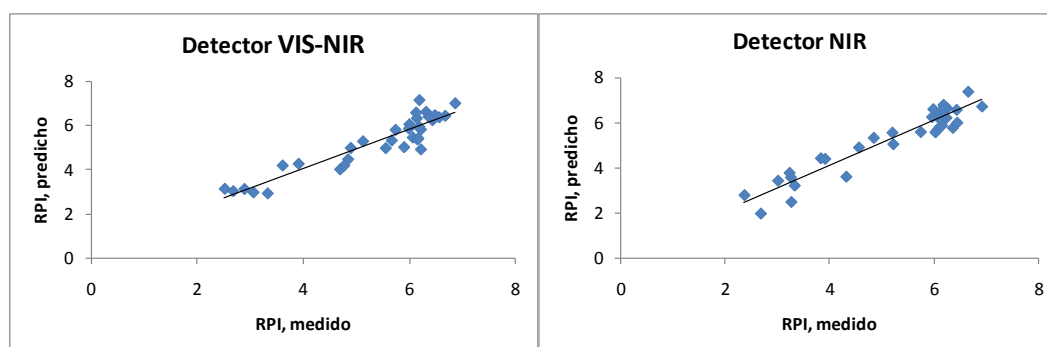


Figura 2. Resultados de los modelos PLS para la predicción del RPI en las muestras de mango con ambos detectores.

Conclusiones

A través del RPI se ha podido evaluar la madurez de los mangos 'Osteen'. Este índice se determina analizando la firmeza, la acidez titulable y el contenido en sólidos solubles del producto, pero también puede ser predicho a través de medidas espectrométricas no destructivas en el rango VIS-NIR con un R^2 superior al 0,85 y un RMSEP del 0,481, y en el rango NIR mejoró el modelo con un R^2 de 0.886 y un RMSEP del 0.447, para un total de 9 y 13 variables latentes respectivamente. La predicción de este índice mediante técnicas no destructivas es una alternativa interesante a los métodos tradicionales utilizados actualmente. En base a estos resultados se recomienda comprobar la robustez del modelo mediante una validación externa con otros lotes de mango "Osteen" procedente de distintas campañas, pero a priori estos resultados son prometedores para una posible integración de esta tecnología en líneas de confección de mango como un sistema capaz de garantizar la calidad del producto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIA y los fondos FEDER a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-01, RTA2012-00062-C04-02 y RTA2012-00062-C04-03, y a la Conselleria de Educación, Cultura y Deporte, Generalitat Valenciana a través del proyecto AICO/2015/122. Victoria Cortés López agradece al Ministerio Español de Educación, Cultura y Deporte por la beca FPU (FPU13/04202).

Bibliografía

- Abdi H., 2010. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2(1), 97-106.
- AENOR, 1981. Productos derivados de frutas y verduras, determinación de la acidez valorable. UNE 34211:1981.
- Jaiswal P., Jha S.N., Bharadwaj R., 2012. Non-destructive prediction of quality of intact banana using spectroscopy. Scientia Horticulturae, 135, 14-22.
- Jha, S.N., Garg, R., 2010. Non destructive prediction of quality of intact apple using near infrared spectroscopy. J. Food Sci. Technol. 47, 207–213.
- Jha, S.N., Jaiswal, P., Narsaiah, K., Gupta, M., Bhardwaj, R., Singh, A. K., 2012. Non-destructive prediction of sweetness of intact mango using near infrared spectroscopy. J. Scientia Horticulturae, 138, 171-175.
- Lucena, Eliseu Marlônio Pereira de, Assis J.S.d., Alves R.E., Silva, Víctor César Macêdo da, Enéias Filho J., 2007. Alterações físicas e químicas durante o desenvolvimento de mangas 'Tommy Atkins' no vale de São Francisco, Petrolina-PE. Revista Brasileira de Fruticultura, 29, 96-101.
- Machado N.P., Fachinello J.C., Galarça S.P., Betemps D.L., Pasa M.S., Schmitz J.D., 2012. Pear quality characteristics by Vis / NIR spectroscopy. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 84 (3), 853-863.
- Magwaza L.S., Opara U.L., Nieuwoudt H., Cronje P., Saeys W., Nicolai B., 2012. NIR Spectroscopy Applications for Internal and External. Food Bioprocess Technology 5, 425-444.
- Mahayothé B., Leitenberger M., Neidhart S., Mühlbauer W., Carle R., 2004. ActaHortic. 645, 581-588.
- Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron IK, Lammertyn J., 2007. Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology, 46: 99–118.

- Schmilovitch, Z., Mizrach, A., Hoffman, A., Egozi, H., Fuchs, Y., 2000. Determination of mango physiological indices by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 19, 245–252.
- Singh Z., Singh R.K., Sane V.A., Nath P., 2013. Mango – Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(4), 217-236.
- Theanjumol P., Self G., Rittiron R., Pankasemsuk T., Sardud V., 2013. Selecting Variables for Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Evaluation of Mango Fruit Quality. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 5, No.7.
- Vélez-Rivera N., Blasco J., Chanona-Perez J., Calderon-Dominguez G., de Jesus Perea-Flores M., Arzate-Vazquez I., Cubero S., Farrera-Rebollo R., 2014. Computer Vision System Applied to Classification of “Manila” Mangoes During Ripening Process. *Food and Bioprocess Technology* 7, 1183-1194.
- Vilela C., Cordeiro N., Silvestre A.J.D., Oliveira L., Camacho J., 2013. The ripe pulp of *Mangifera indica* L.: A rich source of phytosterols and other lipophilic phytochemicals. *Food Research International*, 54(2), 1535-1540.
- Watanawan, C., Wasusri, T., Srilaong, V., Wongs-Aree, C. and Kanlayanarat, S., 2014. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. var. Namdokmai). *Internacional Food Research Journal*, 21 (3), 1109-1114.
- Yashoda H.M., Prabha T.N., Tharanathan R.N., 2007. Mango ripening – Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chemistry*, 102(3), 691-698.

TP03 - Tratamientos de Salicilatos y Oxálico en cerezas 'SweetHeart' en Campo y sus efectos en la calidad, durante la recolección y conservación

Castillo, S.¹; Giménez M^a J.¹; Martínez-Esplá, A.¹; Serrano, M.², Valero, D.¹

¹ Dep. Tecnología Agroalimentaria, Universidad Miguel Hernández, EPSO, Ctra. Beniel km. 3.2, 03312, Orihuela, (Alicante), España, e-mail: scastillo@umh.es.

² Dep. Biología, Universidad Miguel Hernández, EPSO.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del tratamiento precosecha con compuestos naturales como son ácido salicílico (AS), ácido acetilsalicílico (AAS), salicilato de metilo (SaMe) y ácido oxálico (AO), sobre la calidad final de cerezas de la variedad 'Sweet Heart'. Los cerezos fueron tratados con estos compuestos a tres concentraciones diferentes: 0.5, 1 y 2 mM, y se aplicaron en tres momentos del desarrollo del fruto. Estos tratamientos dieron como resultado un incremento del tamaño y peso del fruto así como una mejora en los atributos de calidad en la recolección comercial, tales como color y firmeza. Se seleccionaron de cada uno de los compuestos el de mejor efecto sobre las cerezas (SaMe 1 mM, AAS 1 mM, AS 0.5 mM y AO 2 mM), y estos frutos se conservaron almacenadas a 1°C durante tres semanas + 1 día a 20°C. Se observó que los distintos parámetros de calidad obtenidos en el momento de la recolección para los frutos tratados, se mantuvieron durante la conservación por encima de las cerezas control. La firmeza se mantuvo por encima del control sobre todo en las tratadas con AS y AO; con respecto a los sólidos solubles no se encontraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales (SST) y acidez total (AT), para los tratamientos con AO, AAS y AS pero si fueron significativamente mayores frente al control, presentando también un ligero aumento de la acidez dando características organolépticas adecuadas para su consumo. De este modo, el tratamiento precosecha con compuestos naturales puede ser una manera eficiente y natural de incrementar la calidad de las cerezas.

Palabras clave: Precosecha, ácido salicílico, ácido acetyl salicílico, salicilato metilo.

Treatments with Salicylates and Oxalic on field of 'Sweet Heart' cherries and its effects on quality at harvest and during storage.

Abstract

The aim of this work was to study the effect of preharvest treatment with natural compounds such as salicylic acid (SA), acetylsalicylic acid (ASA), methyl salicylate (MeSa) and oxalic acid (OA) on the final quality of cherries of the variety 'Sweet Heart'. The cherry trees were treated with these compounds at three different concentrations: 0.5, 1, and 2 mM, and applied at three stages of fruit development. These treatments resulted in an increase in size and weight of the fruit and improved quality attributes at commercial harvesting such as color and firmness. The best concentrations each compound (MeSa 1 mM, ASA 1 mM, SA 0.5 mM and OA 2 mM) were selected and these fruits were stored at 1°C for three weeks + 1 day at 20°C. It was observed that quality parameter were higher in treated than in control cherries. Firmness remained higher control above all treated in SA and OA. With respect to soluble solids there was no significant difference between control and treated fruits and total acidity (TA) was higher in fruits treated with OA, ASA and SA compared to the control leading to enhanced organoleptic characteristics. Thereby, preharvest treatments with these natural compounds can be efficient and natural ways to increase the quality of the cherries.

Keywords: Pre-harvest, salicylic acid, acetylsalicylic acid, methyl salicylate.

Introducción y/o Justificación

Las cerezas es una de las frutas más apreciadas por los consumidores debido al conjunto de sus cualidades gustativas y sensoriales, y a su precocidad en los mercados.

Las principales cualidades que se el consumidor aprecia en ellas son el peso del fruto, color, firmeza, dulzura, acidez, sabor y aroma (Díaz-Mula *et al.*, 2009). Sin embargo la calidad de este disminuye rápidamente durante la conservación.

En las plantas existen una serie de compuestos que forman parte del metabolismo dependiendo del momento del desarrollo y estrés de la planta. Así encontramos el ácido salicílico (AS) una hormona vegetal que juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la planta, actuando como una molécula señal relacionada con respuestas de defensa y protección contra el ataque de patógenos y estrés abiótico (Beckers y Spoel, 2006; Hayat y Ahmad, 2007; Volt, Klessig y Park, 2008). Por otra parte, el ácido acetilsalicílico (AAS) y salicilato de metilo (SaMe, compuesto volátil) son también sustancias presentes de forma natural en los tejidos de las plantas y cuando se aplican de forma exógena se convierten en AS espontáneamente, con efectos similares a AS en los procesos de defensa de las plantas (Hayat y Ahmad, 2007). Tratamientos en postrecolección con AS y sus derivados ácido AAS y SaMe han mostrado beneficios en la conservación de frutos climatéricos y no climatéricos reduciendo daños por frío, podredumbres y el deterioro del fruto (Beckers y Spoel, 2006; Hayat y Ahmad, 2007; Volt, Klessig, y Park, 2008; Sayyari *et al.*, 2011).

El ácido oxálico (AO), como metabolito final en las plantas, tiene muchas funciones fisiológicas, la principal está relacionada con la inducción de resistencia sistémica contra las enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y con el aumento de actividad de las enzimas relacionadas con la defensa y metabolitos secundarios, tales como compuestos fenólicos. Además, los tratamientos poscosecha con AO fueron eficaces en el retraso del proceso de maduración de algunas frutos climatéricos, como ciruela, melocotón, y azufaifo (Wu *et al.*, 2011; Zeng *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2009), a través de una inhibición de la síntesis de etileno. Otro efecto beneficioso del tratamiento poscosecha es que disminuye los síntomas de daños por frío (CI) en las frutas sensibles, como la granada (Sayyari, *et al.*, 2010) y mango (Ding *et al.*, 2007).

En cuanto tratamientos precosecha pocos son los trabajos realizados, pero si se ha visto en algunos de ellos una mejora en la calidad de las cerezas como son tamaño y compuestos funcionales de estos frutos tratados con AS y AAS (Martínez-Esplá *et al.*, 2014) y con Oxálico (Gimenez *et al.*, 2014).

Material y Métodos

El presente trabajo se realizó en una plantación comercial de cerezos (*Prunus avium* L., cv. Sweet Heart), situada en el término municipal de Jumilla (Murcia), los cuales se trataron con compuestos naturales presentes en plantas, estos tratamientos fueron con ácido oxálico (AO), ácido acetyl salicílico (AAS), ácido salicílico (AS), salicilato de metilo (SaMe) a 3 concentraciones (0.5, 1.0 y 2 mM). De acuerdo con trabajos previos de Díaz-Mula *et al.*, (2008), estos tratamientos se realizaron en tres momentos claves del desarrollo del fruto: en el periodo del endurecimiento del hueso, inicio de los cambios de color, y finalización del crecimiento. Las cerezas se recolectaron en estado de madurez comercial dos semanas después del último tratamiento, cuantificando el peso medio de las cerezas de cada árbol, a partir de una muestra de 3 lotes de 100 cerezas tomadas al azar de cada árbol. Estas muestras se usaron para la determinación, por duplicado, de los parámetros relacionados con la calidad de las cerezas en el momento de la recolección. Para los experimentos de post-recolección (conservación) se seleccionaron

lotes homogéneos de cada uno de los compuestos, escogiendo el de mejor efecto sobre las cerezas en el momento de la recolección para cada uno de los compuestos (SaMe 1 mM, AAS 1 mM, AS 0.5 mM y AO 2 mM). Las determinaciones analíticas para cada muestreo: peso, color, tasas de respiración y producción de etileno, firmeza, sólidos solubles y acidez, se analizaron siguiendo la metodología descrita por Díaz-Mula *et al*, (2008). Los resultados son la media \pm ES de los datos obtenidos.

Resultados y Discusión

El tratamiento con estos compuestos naturales AS, AAS, SaMe y AO en los momentos claves del desarrollo (Martínez-Esplá *et al.*, 2014), en las tres concentraciones establecidas, incrementaron el tamaño de los frutos con respecto a las cerezas de los arboles control (Figura 1) siendo este incremento en peso desde valores del 5% en AS (1mM) al 33 % en SaMe. De estos resultados se puede ver que el efecto de las dosis de cada uno de los tratamientos afecta al tamaño de los frutos. Los tratamientos que más aumentaron el peso de los frutos fue SaMe, en sus tres concentraciones, que llegó a incrementar el peso de los frutos hasta un 30 % con respecto al control, no existiendo diferencias significativas entre las dosis. Para el AO los pesos aumentaron, de un 14 al 17 %. Para el caso del AS la mejor dosis fue 0,5 mM y para AAS 1 mM con la que se incrementó hasta un 23 % el peso de las cerezas. Los resultados muestran que los tratamientos fueron efectivos, aumentando el tamaño de las cerezas, por tanto la mayor aceptación por los consumidores lo que hace que alcancen mejores precios.

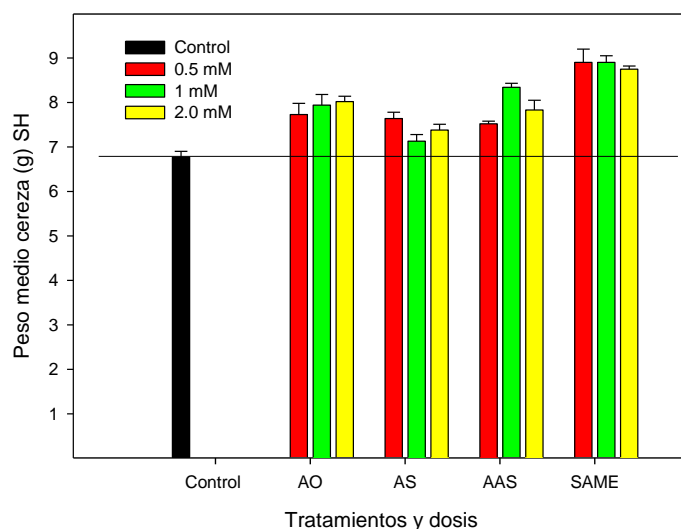


Figura 1. Efecto de los distintos tratamientos realizados en cerezos Sweet Heart en el peso medio de los frutos en el momento de la recolección (media \pm ES)

Para las pruebas de postrecolección, se realizó la conservación con los mejores resultados obtenidos de los tratamientos en cuanto peso y aspecto, por lo que seleccionaron (SaMe 1 mM, AAS 1 mM, AS 0.5 mM y AO 2 mM). En este proceso de conservación se estudiaron los atributos que el consumidor aprecia en las cerezas como el color, con sólidos solubles totales, acidez total y firmeza (Crisosto *et al.*, 2003).

En cuanto a la firmeza de las cerezas, podemos ver en la figura 2 que la firmeza fue superior en las cerezas de arboles tratados, especialmente con Oxálico, un 30 % superior, seguido del AS. Durante las tres semanas de conservación la firmeza de los frutos tratados fue superior a la de los controles, a pesar de la disminución que se

produce a lo largo de la conservación. Esto puede deberse al efecto de estos compuestos reduciendo la actividad las enzimas galacturonasa y pectin metil esterasa, disminuyendo la degradación d las pectinas (Wu et al., 2011).

Los SST en el momento de la recolección de frutos control y tratados estaban por encima del límite de 14-16 g 100 g⁻¹ sugerido por Crisostomo et al., (2003) como aceptable para su comercialización en una amplia gama de variedades de cereza. Se puede ver en la figura 3, que el contenido en SST en las cerezas tratadas (19.9-20.9 °Brix) fue superior a los obtenidos en el control (19.2 °Brix), siendo los tratados con SaMe y AO los que dieron valores más altos al inicio, produciéndose además un ligero aumento de los SST a lo largo de la conservación, para los tratamientos con AO, AAS y AS no se encontraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales durante la conservación, pero si fueron significativamente mayores frente al control.

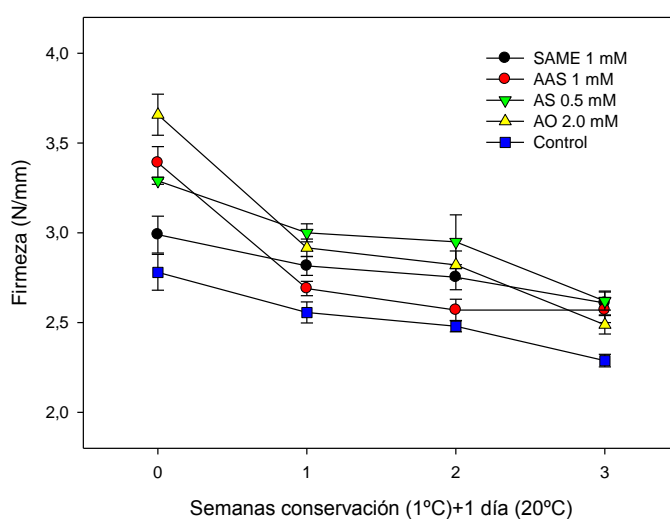


Figura 2. Evolución de la firmeza durante la conservación de las cerezas Sweet Heart tratadas en campo con SaMe, AAS, AS O AO (media± ES)

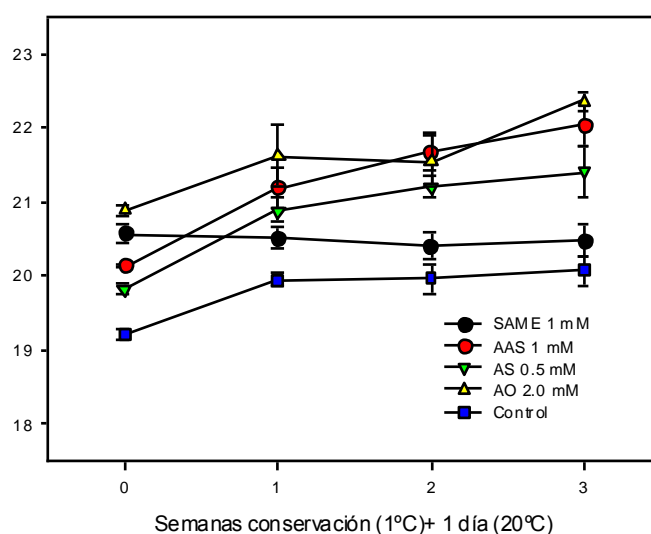


Figura 3. Evolución de los sólidos solubles durante la conservación de las cerezas Sweet Heart tratadas en campo con SaMe, AAS, AS O AO (media± ES)

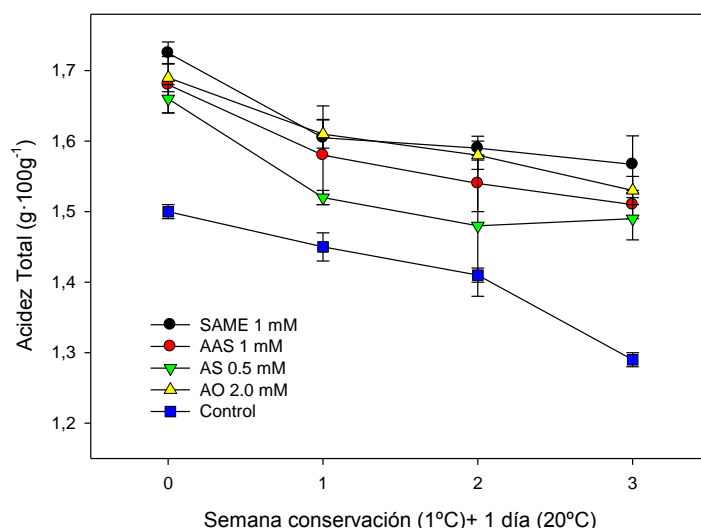


Figura 4. Evolución de la acidez total durante la conservación de las cerezas Sweet Heart tratadas en campo con SaMe, AAS, AS O AO (media± ES)

Con relación a la AT los valores oscilaron entre 1.65 y 1.72 g 100g⁻¹ en los tratados frente a 1.5 g 100g⁻¹ de los controles y se mantuvieron superiores a lo largo de la conservación, a pesar de la disminución a lo largo de las tres semanas de conservación, obteniéndose los mejores resultados para los tratados con MeSa y AO. Este efecto del aumento de SST y AT puede ser atribuido a un incremento neto de la fotosíntesis en los árboles tratados, que también sería responsable del mayor peso de la fruta de los arboles tratados (Wang et al., 2009). Estos ligeros aumentos de SST y de AT les dan a los frutos características organolépticas adecuadas para su consumo.

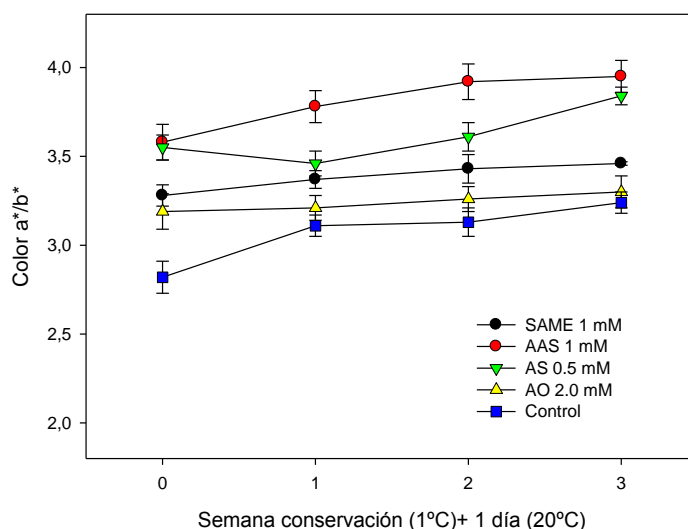


Figura 5. Efecto en el color (a*/b*) durante la conservación de las cerezas Sweet Heart tratadas en campo con SaMe, AAS, AS O AO (media± ES)

El color en las cerezas es uno de los atributos más importantes junto con los sólidos solubles, la acidez y la firmeza. El índice de color a*/b* es adecuado para para determinar las diferencias entre variedades (Serrano 2005; Diaz-Mula 2009) y también entre tratamientos. Desde el momento de la recolección hasta el final de conservación los frutos tratados mostraron valores más altos que los controles, en el índice de color destacando los que fueron tratados con AAS y AS con valores superiores a 3,5 seguido de los tratados con SaMe. Se observa que los tratados con SaMe, durante la

conservación fue el que menos variación sufrió en los distintos parámetros, los SST se mantuvieron a lo largo de la conservación y en cuanto a la firmeza, AT y color estas variaciones fueron mínimas frente a las variaciones producidas en los otros tratamientos y en el control.

Conclusiones

Los resultados muestran que todos los tratamientos precosecha con estos compuestos naturales aumentan el tamaño los frutos y mejoran los parámetros relacionados con la calidad en el momento de la recolección, siendo el SaMe el que produjo mayor tamaño y el oxálico el que presentó el mejor comportamiento en los parámetros de calidad. Por tanto, los tratamientos precosecha con estos compuestos naturales pueden ser una manera eficiente de incrementar la calidad de las cerezas tanto en la recolección como durante la conservación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido co-financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y Fondos FEDER a través del Proyecto Nacional AGL2012-35402/ALI. Los autores agradecen a la empresa “Fincas Toli S.L.” por permitir la realización de los experimentos y el asesoramiento técnico.

Bibliografía

- Beckers, G. J. M., Spoel, S. H. 2006. Fine-tuning plant defence signalling: Salicylate versus jasmonate. *Plant Biology*, 8, 1–10.
- Crisosto, C. H., Crisosto, G. M.; Metheney, P. 2003. Consumer acceptance of ‘Brooks’ and ‘Bing’ cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 159–167.
- Hayat, S.; Ahmad, A. 2007. *Salicylic Acid: A Plant Hormone*. Dordrecht: Springer.
- Díaz-Mula H. M., Zapata P. J., Guillén F., Castillo S., Martínez-Romero D., Valero D., Serrano, M., 2008. Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: a comparative study. *Journal Science Food Agricultural*. 88, 2499-2507.
- Díaz-Mula, H.M.; Castillo, S. Martínez-Romero, D. Valero, D. Zapata, P.J. Guillen, F.; Serrano, M.. 2009. Sensory, Nutritive and Functional Properties of Sweet Cherry as Affected by Cultivar and Ripening Stage. *Food Science and Technology International*. 15(6):535-543.
- Ding, Z. S.; Tian, S. P.; Zheng, X. L.; Zhou, Z. W.; Xu, Y. 2007. Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. *Phyiol. Plant*. 130, 112–121.
- Giménez, M. J.; Valverde, J. M.; Valero, D.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Serrano M.; Castillo, S. 2014. Quality and antioxidant properties on sweet cherries as affected by preharvest salicylic and acetylsalicylic acids treatments. *Food Chemistry*. 160, 226–232
- Martínez-Esplá, A.; Zapata, P. J.; Valero, D.; García-Viguera, C.; Castillo, S.; Serrano, M. 2014. Preharvest Application of Oxalic Acid Increased Fruit Size, Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity in Sweet Cherry Cultivars (*Prunus avium* L.). *J. Agric. Food Chem.*. 62, 3432–3437.
- Sayyari, M.; Valero, D.; Babalar, M.; Kalantari, S.; Zapata, P. J.; Serrano, M. 2010. Prestorage oxalic acid treatment maintained visual quality, bioactive compounds,

- and antioxidant potential of pomegranate after long-term storage at 2 °C. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 6804–6808.
- Sayyari, M., Castillo, S., Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Serrano, M. 2011. Acetyl salicylic acid alleviates chilling injury and maintains nutritive and bioactive compounds and antioxidant activity during postharvest storage of pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 136–142.
- Serrano, M.; Guillen, F.; Martínez-Romero, D.; Castillo, S.; Valero, D. 2005. Chemical Constituents and Antioxidant Activity of Sweet Cherry at Different Ripening Stages. *J. Agric. Food Chem.* 53, 2741-2745
- Serrano, M.; Díaz-Mula, H.; Zapata, P. J.; Castillo, S.; Guillen, F.; Martínez-Romero, D.; Valverde, J. M.; Valero, D. (2009). Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 57, 3240–3246.
- Valero, D.; Díaz-Mula, H. M.; Zapata, P.J. Castillo, S.; Guillén, F.; Martínez-Romero, D.; Serrano, M. 2011. Postharvest Treatments with Salicylic Acid, Acetylsalicylic Acid or Oxalic Acid Delayed Ripening and Enhanced Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity in Sweet Cherry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 59 (10), pp. 5483-5489
- Volt, A. C., Klessig, D. F., Park, S. W. 2008. Systemic acquired resistance: The elusive signal(s). *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 436–442.
- Wang, Q.; Lai, T.; Qin, G.; Tian, S. 2009. Response of jujube fruits to exogenous oxalic acid treatment based on proteomic analysis. *Plant Cell Physiol.* 50, 230-242.
- Wu, F.; Zhang, D.; Zhang, H.; Jiang, G.; Su, X.; Qu, H.; Jiang, Y.; Duan, X. 2011. Physiological and biochemical response of harvested plum fruit to oxalic acid during ripening or shelf-life *Food Res. Int.* 44, 1299-1305.
- Zheng, X.; Tian, S.; Meng, X.; Li, B. 2007. Physiological and biochemical response in peach fruit to oxalic acid treatment during storage at room temperature. *Food Chem.* 104, 156–162.

TP04 - Determinación de la firmeza de mango 'Osteen' mediante una garra robótica sensorizada

Cortés, V.¹; Blanes, C.²; Navarro, M.¹; Mellado, M.²; Talens, P.¹; Ortiz, C.³

¹ Dpto. Tecnología de Alimentos, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, paulens@tal.upv.es, viccorl3@doctor.upv.es

² Instituto Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, carblac1@ai2.upv.es, martin@ai2.upv.es

³ Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, cortiz@dmata.upv.es.

Resumen

La calidad de la fruta está intrínsecamente relacionada con la madurez del producto. Existe un interés creciente en establecer procedimientos para medir su madurez. Los parámetros que determinan el nivel de madurez del mango son tanto parámetros composicionales (azúcares y acidez), como parámetros de textura (firmeza), y el color. Entre estos parámetros, la firmeza se ha considerado un indicador fiable de la madurez de mango en las etapas de cosecha y madurez durante la manipulación de mango comercial, así como una herramienta importante para los productores, importadores, minoristas y consumidores. Actualmente, se está trabajando en el desarrollo de métodos no destructivos para evaluar la calidad. Paralelamente, la automatización de procesos manuales con robots permite mejorar costes, la higiene, la ergonomía de trabajos repetitivos y puede ayudar a asegurar una calidad constante y controlada. En este trabajo se seleccionaron 350 mangos sanos de la variedad 'Osteen' recolectados en Málaga con 8° Brix, se distribuyeron en 7 lotes, y se almacenaron en condiciones de humedad y temperatura controladas. Cada dos días, un lote de 50 mangos era manipulado con la garra robot. Ésta fue un diseño ex profeso para mangos y productos de características similares, la cual consta de tres dedos, uno de ellos con un fluido jamming, y una ventosa, cada dedo tiene colocado un acelerómetro. De ese lote, 30 mangos eran almacenados para evaluar la aparición de daños y los 20 restantes eran analizados de forma destructiva mediante la evaluación de la firmeza de la pulpa. Mediante modelos de regresión lineal múltiple, se ha demostrado que existe una relación entre los ensayos destructivos relacionados con la madurez de los mangos y las variables extraídas de las curvas aceleración-tiempo de los sensores colocados en los dedos de la garra robot. Finalmente se ha creado y validado un modelo para estimar la firmeza destructiva de los mangos con las variables extraídas de la garra robot (R^2 del modelo 0,87 y r de la predicción 0,94).

Palabras clave: calidad, no destructivo, fruta, acelerómetro, sensor táctil.

Firmness assessment of mango 'Osteen' with a robot gripper

Abstract

The fruit quality is intrinsically related to product maturity. There is a growing interest in establishing procedures for measuring maturity. The parameters which determine the level of maturity of the mango are compositional parameters such as sugars and acidity, and texture parameters such as firmness, and the colour. Among these parameters, firmness has been considered a reliable indicator of mango maturity at harvest and ripeness stages during commercial mango handling, as well as an important tool for growers, importers, retailers and consumers. Currently, non-destructive methods are being developed to evaluate quality. At the same time, at industrial level robotic pick and place processes reduces manufacturing cost, improves hygienic conditions, avoids ergonomic issues and can assure consistent quality. In this study, 350 healthy mangoes ('Osteen' variety) were collected in Málaga with 8°Brix were distributed in 7 lots, and stored under controlled conditions of temperature and humidity. Every two days, a lot of 50 mangoes were handled by a robot gripper. This robot gripper was designed to manipulate mango and other similar fruits and has three fingers, one of them with a jamming device and another with a suction cup, each finger has an accelerometer. From the 50 mangoes, 30 mangoes were stored to evaluate damage, and the remaining 20 were destructively analyzed

by mean pulp firmness. Multiple regression models were used to study the relation between the destructive analysis related to mango maturity and the variables extracted from the acceleration-time curves of the finger accelerometers. Finally, a model was developed and validated to estimate the mango destructive firmness with the variables extracted from the robot gripper (model R^2 of 0.87 and prediction r of 0.94).

Keywords: quality, non-destructive, fruit, accelerometer, tactile sensor.

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta tropical con alto valor añadido, siendo el quinto fruto de consumo mundial y el tercero entre las frutas tropicales, inmediatamente detrás plátano y piña. Los principales productores de mango, en términos de volumen, son la India, China y Tailandia (FAOSTAT, 2014). En España, el cultivo del mango se centra en dos regiones, Andalucía y las Islas Canarias. Debido a su buena adaptación climatológica, la ausencia de plagas y el incremento en el mercado interior, la región de Málaga (Andalucía) ha mostrado un significativo aumento durante los últimos años. Por lo tanto, todas las previsiones futuras apuntan a un aumento en la expansión del mercado del mango, ampliando así sus áreas de cultivo, producciones y mercados.

Los mangos son frutas climatéricas, y su proceso de maduración es rápido durante el tiempo de post-cosecha. Durante el proceso de maduración, varias vías fisiológicas y bioquímicas se activan simultáneamente generando cambios en la fruta (Bouzayen *et al.*, 2010), los cuales comienzan con producción autocatalítica de etileno y aumento de la respiración. Los cambios observados generalmente incluyen ablandamiento de textura (Yashoda *et al.*, 2007; Jha *et al.*, 2010), cambios en el color debido a la desaparición de la clorofila y la aparición de otros pigmentos como los carotenoides (Gouado *et al.*, 2007; Zaharah *et al.*, 2012.; Rungpichayapichet *et al.*, 2015), la pérdida de ácidos orgánicos, aumento del contenido de sólidos solubles, disminución de la acidez, así como cambios generales en el sabor y aroma (Singh *et al.*, 2013). La determinación precisa de la etapa de maduración de frutas es importante en el procedimiento de embalaje para el manejo post-cosecha (Hahn, 2004) y para proporcionar un suministro constante de fruta de buena calidad (Saranwong *et al.*, 2004). La medición de sólidos solubles totales, almidón contenido, acidez, o firmeza, se utilizan como índice de madurez, pero no siempre estos parámetros se correlacionan con la calidad óptima del fruto. Entre estos parámetros, la firmeza se ha considerado un indicador fiable de la madurez en la cosecha de mango y durante la manipulación comercial del mismo, así como una herramienta importante para los productores, importadores, minoristas y consumidores (Padda *et al.*, 2011). La firmeza se puede medir de forma manual por una persona entrenada utilizando un penetrómetro, pero esta técnica presenta muchas desventajas en términos de pobre repetitividad, la subjetividad y la limitación en ciertas etapas de la madurez (Peacock *et al.*, 1986). El uso de penetrómetros automatizados es otra alternativa para medir la firmeza de la fruta del mango, pero muestra la desventaja que es un método destructivo. El desarrollo de un método automático no destructivo y fiable que permita evaluar la madurez en el sitio de embalaje es deseable en la industria del mango. Normalmente, las operaciones de envasado de mango se realizan a mano, lo que podría generar una propagación de enfermedades transmitidas por los alimentos, además de que los operadores podrían sufrir trastornos musculoesqueléticos debido a los movimientos repetitivos. La robótica presenta claras oportunidades para automatizar operaciones de envasado en la

industria alimentaria (Wilson, 2010). Para lograr reemplazar el trabajo de empaquetado manual, las garras para robots deben mejorar sus capacidades para manejar, sin generar daños, productos irregulares y sensibles como el mango, e incorporar sensores táctiles que permitan clasificar los productos durante su manipulación. Diferentes soluciones relativas al desarrollo de garras para robots que permitan la manipulación de frutas y verduras han sido propuestas por Blanes *et al.*, 2011. Algunos autores apuntan al uso de mecanismos infra-actuados para lograr esta adaptación (Meijneke *et al.*, 2011). Algunas técnicas relacionadas con el uso de esta tecnología se pueden encontrar en aplicaciones industriales (Lacquey, www.lacquey.nl). El uso de fluidos granulares en los dedos de garras tiene un enorme potencial para desarrollar robots flexibles y sistemas de garras robot autoadaptables (Jaeger *et al.*, 2014). Mediante el uso de un material granular es posible adaptarse a la forma del producto y, al mismo tiempo, manipular productos irregulares (Brown *et al.*, 2010). A pesar de los avances realizados en los sensores táctiles para aplicaciones robóticas, su uso en la automatización industrial es extremadamente baja especialmente debido a la falta de soluciones fiables y sencillas (Girao *et al.*, 2013). Algunos avances se pueden encontrar para la clasificación vegetal usando sensores táctiles en garras del robot. Naghdy y Esmaili, 1996 utilizan la medición de la corriente del actuador de agarre. Bandyopadhyaya *et al.*, 2014 emplean sensores piezo-resistivos, y Blanes *et al.*, 2015 usa acelerómetros unidos a la dedos de la garra.

El objetivo de este trabajo es la utilización de una garra robótica para la evaluación de la firmeza del mango, cv. 'Osteen' y establecer relaciones entre las mediciones del agarre robótico no destructivo a través de los acelerómetros de sus dedos y el índice de madurez del mango.

Material y Métodos

Metodología y diseño experimental

Un total de 350 mangos (*Mangifera indica* L., cv 'Osteen') cultivados en la provincia de Málaga (España), fueron recolectados manualmente libres de manchas o infecciones externas con un nivel de sólidos solubles de 8 ° Brix.

Todos los mangos se lavaron con una solución jabonosa preparada con dos gotas de lavavajillas por litro de agua y se secaron con papel desechable para eliminar completamente el agua de su superficie. Los mangos fueron numerados individualmente y de forma aleatoria divididos en 7 lotes de 50 mangos cada uno (A, B, C, D, E, F y G). Se pesaron y se almacenaron todos los lotes durante un día en una cámara frigorífica ($11,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ y $84,3 \pm 1,7\%$ de humedad relativa) hasta comenzar las pruebas con la garra robot. Un día después de la recepción se analizaron los frutos del lote A, y los lotes restantes se colocaron en una cámara de almacenamiento a $18,0 \pm 2,1^{\circ}\text{C}$ y $67,6 \pm 3,3\%$ de humedad relativa. Cada dos días, el siguiente lote se sacó de la cámara de almacenamiento. Estos 50 mangos se manipulaban primero con la garra robot y después a 20 de ellos se les evaluaban sus propiedades mecánicas, y los otros 30 restantes se utilizaban para evaluar los daños causados por la garra robot. Estos frutos se mantuvieron en la cámara de almacenamiento durante dos semanas después de la manipulación con el fin de evaluar los posibles daños.

Determinaciones experimentales

Análisis destructivo

A fin de evaluar la firmeza y la madurez de los mangos, se analizaron sus propiedades mecánicas inmediatamente después de las mediciones con la garra robot.

Las propiedades mecánicas se analizaron a través de un ensayo de punción mediante el uso de una máquina de ensayo universal (TextureAnalyser-XT2, Stable MicroSystems (SMS) Haslemere, England). El ensayo se realizó con un punzón de 6mm de diámetro (P/15ANAMEsignature) hasta una deformación relativa del 30% y a una velocidad de 1mm/s, por triplicado en cada muestra. La fuerza de fractura (F_F) expresada en Newtons, su distancia en el punto de fractura (d_F) en milímetros y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura se determinaron para cada muestra (Figura 1).

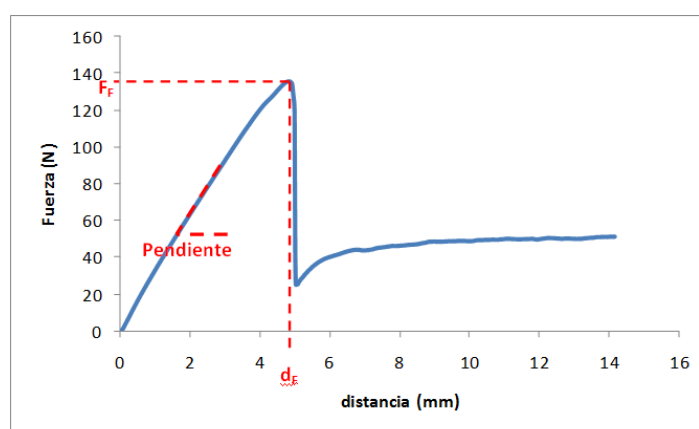


Figura1. Curva de punción de una muestra de mango fresco, en la que se representa la fuerza frente a la distancia.

Análisis no destructivo

Los mangos fueron colocados manualmente en una cuna. El robot mueve la garra hasta situar el mango en la posición central de ataque de la garra. Durante 0,03 segundos la membrana interna de latex del dedo A es inflada, esto asegura una zona blanda antes de agarrar el mango. Posteriormente la garra cierra el dedo A que copia la forma del mango mientras los dedos B y C rotan adaptándose también al mango. Posteriormente se realiza un vacío dentro de la membrana del dedo A incrementando la rigidez de la zona de contacto, se acciona la ventosa localizada entre los dedos B y C y, el robot desplaza verticalmente la garra con el mango. Un bucle repite 5 veces la apertura y cierre del dedo A golpeando suavemente el mango. Cada dedo tiene un acelerómetro (ADXL 278) en su parte posterior. Las señales de deceleración son muestreadas a 30 KHz durante 8 Kbs y enviadas a un ordenador por medio de una tarjeta de adquisición de datos NI-6210. Un programa realizado en LabVIEW permite procesar las señales de deceleración consiguiendo 24 parámetros independientes.

- 9 parámetros procedentes de la integral cuadrática de las señales en el eje X, 3 con la señal original (V_{Ax} , V_{Bx} y V_{Cx}), 3 con la señal suavizada (V_{Ax2} , V_{Bx2} y V_{Cx2}) y 3 con la señal suavizada y cortada a solo la zona del primer golpe entre los dedos y el mango (V_{Ax3} , V_{Bx3} y V_{Cx3}).

- 6 parámetros correspondientes a los valores de deceleración máximos registrados de las señales en el eje X con (MaxAx2, MaxBx2 y MaxCx2) y sin suavizar la señal (MaxAx, MaxBx y MaxCx)
- 9 parámetros correspondientes al análisis del impacto, 3 que corresponden entre el valor máximo registrado y el valor 80 muestras antes (SlpAx, SlpBx y SlpCx), 3 correspondientes a el valor máximo de pendiente (MxpdAx, MxpdBx y MxpdCx) y 3 que son el área de la derivada de las deceleraciones entorno al primer contacto (MddcAx, MddcBx y MddcCx).

Análisis estadístico

Para la evaluación de la relación entre las variables destructivas de firmeza y los parámetros registrados por los acelerómetros de los dedos de la garra robot se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple utilizando el software Statgraphics Plus para Windows 5.1 (Manugistics Corp., Rockville, Md.).

Resultados

Análisis de los ensayos destructivos

La Tabla1 incluye los valores de firmeza destructiva medios obtenidos en los lotes utilizados en cada uno de los días de ensayo. Valores obtenidos de las medidas que ofrece la máquina universal de ensayos, y que son representados a partir de la pendiente de la curva Fuerza-Distancia que se obtiene. Se puede observar como la firmeza destructiva de referencia disminuye significativamente con el paso del tiempo.

Tabla1. Test de rangos múltiples de Duncan para la variable Firmeza destructiva (N/mm) a lo largo de los días de almacenamiento.

Test de Contraste de rangos múltiples de Duncan			
95,0 porcentaje LSD			
Día	Número	Media	Grupos homogéneos
2	20	21,0164	X
4	20	16,5214	X
7	20	15,7433	X
9	20	12,1756	X
11	20	9,30723	X
14	20	4,12146	X
16	20	2,58875	X

Como se esperaba, durante el proceso de maduración la textura de los mangos sufre cambios (pérdida de firmeza). La fuerza de fractura y la pendiente del rango lineal hasta el punto de fractura disminuyeron durante el periodo de almacenamiento. Estos cambios pueden deberse a un aumento de la actividad enzimática en el fruto que provoca cambios en la integridad estructural de la pared celular y lamela media, tal y como describió previamente Yashoda *et al.*, 2007. Durante el reblandecimiento de la fruta las paredes celulares son modificadas por solubilización, de-esterificación y despolimerización, acompañado de una extensa pérdida de azúcares neutros y ácido galacturónico (Singh *et al.*, 2013).

Relación entre las medidas destructivas de firmeza y las medidas no destructivas de la garra robot

La información extraída de los acelerómetros de los dedos de la garra fue procesada para obtener las 24 variables que presentan una mayor repetitividad y que son las más significativas del proceso de agarre. Posteriormente se estudió la relación de estas variables extraídas de los sensores no destructivos con la firmeza destructiva de los mangos.

Con el fin de encontrar la correlación entre la variable firmeza destructiva y las variables no destructivas extraídas de los acelerómetros de los dedos de la garra robot, se llevó a cabo una regresión lineal múltiple. Los resultados de este estudio se presentan en la Tabla 2. En esta regresión se obtuvo un R^2 del modelo del 87,9%.

Los valores de firmeza destructiva se relacionan significativamente con las variables extraídas de la garra robot. Esto está justificado por la forma en que se extraen las variables de los acelerómetros de los dedos de la garra robot. La garra realiza unos golpes no destructivos sobre los mangos y el sistema registra las correspondientes curvas de aceleración tiempo, que están relacionadas directamente con la fuerza-deformación.

Tabla2. Resultados de la regresión lineal múltiple para el conjunto de mangos.

Variable explicada	Variables explicativas		R ² ajustado (%)	Error estándar de la estimación
Firmeza destructiva	1. MxpdAx	2. VAx2	87.92	± 2.49
	3. MaxBx	4. MaxBx2		
	5. MaxAx2	6. VBx		
	7. MaxAx	8. VAx		

En vista del alto porcentaje de relación existente entre las variables que ofrece la garra robot y la firmeza destructiva, se creó y validó un modelo de explicación de la firmeza destructiva en función de las variables de la garra robot. Se tomaron 110 mangos aleatoriamente de las 140 muestras, para crear el modelo de regresión en el que se explica la firmeza destructiva mediante las variables ofrecidas por la garra robot, obteniendo un R^2 de 87,07%, y un error estándar de la estimación es de 2,54 N/mm.

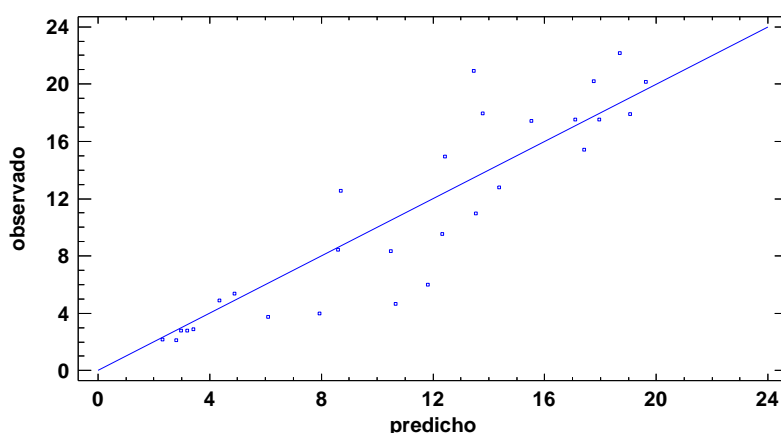


Figura 2. Gráfico de predicción de la firmeza con el modelo generado con la información extraída de la garra robot.

Una vez creado el modelo, fue validado aplicando la ecuación obtenida (Firmeza destructiva predicha) a los valores de los 30 mangos restantes (Figura 2). Los resultados que se obtuvieron fueron un r de la predicción 0,94, con un error estándar de la estimación de 2,43 N/mm.

De los 30 mangos de cada lote que fueron almacenados después de la manipulación con la garra robot para la observación de daños ocasionados por el equipo, únicamente dos frutos del lote correspondiente al día 14 de almacenamiento y 7 correspondientes al día 16 presentaron daños. Estos resultados mostraron como únicamente los frutos en un estado de madurez elevado fueron deteriorados en la manipulación de la garra robot.

Conclusiones

Se ha comprobado que la garra robot es capaz de manipular los magos 'Osteen' sin infringirles daños en la piel o pulpa, salvo cuando el fruto llega a un estado de sobre-maduración, con un nivel de firmeza muy bajo.

Se ha desarrollado un modelo para estimar la firmeza destructiva de los mangos con las variables extraídas de la garra robot (R^2 del modelo 0,87, r de la predicción 0,94).

Con los resultados obtenidos se ha puesto de manifiesto la capacidad de manipulación y de medición de la firmeza mediante una garra robot.

Agradecimientos

Esta investigación se ha financiado parcialmente por el INIA y los fondos FEDER a través de los proyectos RTA2012-00062-C04-02 y RTA2012-00062-C04-03). Victoria Cortés López agradece al Ministerio Español de Educación, Cultura y Deporte por la beca FPU (FPU13/04202).

Bibliografía

- Bandyopadhyaya I., Babu D., Bhattacharjee S. y Roychowdhury J. (2014). Vegetable Grading Using Tactile Sensing and Machine Learning. In Anonymous Advanced Computing, Networking and Informatics-Volume 1. (pp. 77-85). Springer.
- Blanes C., Mellado M., Ortiz C., y Valera A. (2011). Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables. Spanish Journal of Agricultural Research, 9(4), 1130-1141.
- Blanes C., Ortiz C., Cortes V., Talens P., y Mellado M. (2015). Robot Gripper Sensor Operation in Fresh Mango Postharvest Handling for Non-Destructive Firmness Assessment. In 1st International Student Congress of Food Science and Technology, Universidad de Valencia.
- Bouzayen M., Latché A., Nath P., y Pech J. (2010). Mechanism of fruit ripening. In Anonymous Plant Developmental Biology-Biotechnological Perspectives. (pp. 319-339). Springer. (ISBN 978-3-642-02300-2)
- Brown E., Rodenberg N., Amend J., Mozeika A., Steltz E., Zakin M.R., Lipson H., & Jaeger H.M. (2010). From the Cover: Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(44), 18809-18814.
- FAOSTAT, 2014. ProdSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at web page accessed 19/1/2015 <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (Retrieved 10.03.14)

- Gouado I., Schweigert F.J., Ejoh R.A., Tchouanguep M.F., y Camp J.V. (2007). Systemic levels of carotenoids from mangoes and papaya consumed in three forms (juice, fresh and dry slice). *European journal of clinical nutrition*, 61(10), 1180-1188. (DOI 10.1038/sj.ejcn.1602841)
- Jaeger H. (2014). Celebrating Soft Matter's 10th Anniversary: Toward jamming by design. *Soft matter*, 11(1), 12-27.
- Hahn F. (2004). Mango Firmness Sorter. *Biosystems engineering*, 89(3), 309-319. (DOI 10.1016/j.biosystemseng.2004.07.005)
- Jha S.K., Sethi S., Srivastav M., Dubey A.K., Sharma R.R., Samuel D.V.K., y Singh A.K. (2010). Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 208-212. (DOI 10.1016/j.jfoodeng.2009.10.011)
- Meijneke C., Kragten G., y Wisse M. (2011). Design and performance assessment of an underactuated hand for industrial applications. *Mechanical Science*, 2, 9-15.
- Naghdy F., Esmaili M. (1996). Soft Fruit Grading using a Robotics Gripper. *International Journal of Robotics and Automation*, 11, 93-101.
- Padda M., Padda M.S., Garcia R., Slaughter D., y Mitcham E. (2011). Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: A multivariate approach. *Postharvest Biology and Technology*, 62(3), 267-274. (DOI 10.1016/j.postharvbio.2011.06.002)
- Peacock B., Murray C., Kosiyachinda S., Kosittrakul M., y Tansiriyakul S. (1986). Influence of harvest maturity of mangoes on storage potential and ripe fruit quality. *Asean Food Journal*, 2, 99-101.
- Rungpichayapichet P., Rungpichayapichet B., Mahayothee P., Khuwijitjaru M., Nagle J., y Müller. (2015). Non-destructive determination of β -carotene content in mango by near-infrared spectroscopy compared with colorimetric measurements. *Journal of food composition and analysis*, 38, 32-41. (DOI 10.1016/j.jfca.2014.10.013)
- Saranwong S., Sornsrivichai J. y Kawano S. (2004). Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 137-145. (DOI 10.1016/j.postharvbio.2003.08.007)
- Silva-Girao P., Pinto-Ramos P.M., Postolache, O. y Dias-Pereira J.M. (2013). Tactile sensors for robotic applications. *Measurement*, 46(3), 1257-1271.
- Singh Z., Singh R.K., Sane V.A., y Nath P. (2013). Mango – Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(4), 217-236. (DOI 10.1080/07352689.2012.743399)
- Wilson M. (2010). Developments in robot applications for food manufacturing. *Industrial Robot*, 37(6), 498-502.
- Yashoda H.M., Prabha T.N., y Tharanathan R.N. (2007). Mango ripening - Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chemistry*, 102(3), 691-698. (DOI 10.1016/j.foodchem.2006.06.001)
- Zaharah S.S., Singh Z., Symons G.M., y Reid J.B. (2012). Role of Brassinosteroids, Ethylene, Absciscic Acid, and Indole-3-Acetic Acid in Mango Fruit Ripening. *Journal of plant growth regulation*, 31(3), 363-372. (DOI 10.1007/s00344-011-9245-5).

TP05 - Registro y análisis de temperaturas: productos IV gama del campo a la mesa

Gómez Arranz, M.¹; Diezma, B.¹, Correa, E.C.¹, Hinojosa, A.², Barreiro, P.¹, Escalona, V.²

¹ Grupo de Investigación LPF_TAGRALIA. Universidad Politécnica de Madrid. España. E-mail: belen.diezma@upm.es

² Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC). Grupo de Investigación. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. E-mail: vescalona@uchile.cl

Resumen

Las hortalizas mínimamente procesadas (MP) son productos frescos, higienizados, que sufren alteraciones físicas durante el proceso de elaboración que afectan a su metabolismo, determinando incrementos en la tasa respiratoria y producción de etileno. Los daños que se originan por las operaciones físicas, vuelven a estos productos más susceptibles a la colonización de microorganismos, inducen procesos de cicatrización de heridas y afectan su calidad organoléptica y funcional. Por ello en estos productos es especialmente crítico el aseguramiento de las condiciones de refrigeración desde el productor hasta el consumidor. En este estudio se presenta el análisis de las temperaturas registradas en Santiago (Chile) durante la cadena de producción y distribución de lechugas baby leaf MP tipo Salanova®, monitorizadas mediante sensores de temperatura y humedad relativa (I-Buttons®) y tarjetas RFID con sensor de temperatura (TurboTag®), colocados en el interior de las bolsas de lechuga y en el exterior de las cajas de agrupación. El objetivo del presente trabajo es generar información sobre el historial térmico de estos productos desde la huerta a la nevera del consumidor, así como optimizar los protocolos de colocación de dispositivos y sistematizar procedimientos de análisis de datos espacio-temporales. Con los datos registrados, se simuló la cadena de producción, distribución y venta, realizando un seguimiento de la calidad comercial del producto, evaluándose la tasa respiratoria y las características sensoriales sin degustación. Se observó que no solo se producen saltos térmicos discretos, sino que las lechugas estuvieron durante gran parte de su vida útil en condiciones sub-óptimas de temperatura, comprometiéndose su calidad sensorial: del total de los registros entre la entrada en cámara de refrigeración y la salida de la nevera del consumidor, el 51% está por encima de 8°C, temperatura óptima de conservación.

Palabras clave: Transporte refrigerado, cadena de frío, monitorización, series espacio-temporales, hortalizas de hoja

Recording and analysis of temperatures: Fresh-cut vegetables from field to table

Abstract

Fresh-cut vegetables can be defined as any fresh vegetable that has been physically modified from its original state; processing of vegetables affects its metabolism, causing higher respiratory rates and increasing the production of ethylene. Consequently fresh-cut products are more susceptible to microbial degradation and the loss of organoleptic and functional quality. Therefore in these products is especially critical assurance cooling conditions from the producer to the consumer. In this study, temperatures of minimally processed lettuce, baby leaf variety Salanova, were monitored by sensors of temperature and relative humidity (I-Buttons®) and RFID cards equipped with temperature sensor (TurboTag®) from field to consumer. The sensors were located inside the bags of product and on the boxes of bags. The aim of this work is to generate information about the temperature conditions of the products from the farm to the consumer, and optimize protocols for the distribution of sensors and define procedures for the complex analysis of spatial-temporal data. With the recorded data, the cold chain was simulated and the evolution of sensorial characteristics (without taste) were evaluated. It was observed that not only discrete temperature changes occur, but also the products are far of their optimal conditions during prolonged periods of time, committing sensory quality of the product: 51% of the points registered are above 8°C, that is the recommended temperature for storage.

Keywords: refrigerated transport, cold chain, monitoring, spatial – time series, leaf vegetables

Introducción y Justificación

Es bien sabido que la calidad de los productos hortofrutícolas cambia rápidamente cuando se los someten a temperaturas o humedades relativas inadecuadas durante su procesado, transporte o almacenamiento. Lo que es especialmente cierto en los productos de IV gama, en los que su propio procesado incide en su deterioro (pardeamientos, afectación de microorganismos, deterioro de su calidad organoléptica). Varios estudios han demostrado niveles significativos de heterogeneidad en los valores de temperatura y humedad registrados en diferentes localizaciones de recintos refrigerados como consecuencia de la falta de uniformidad del flujo de aire generado por el equipo de frío, lo que conduce a acentuar el deterioro de la calidad y la pérdida de seguridad de los alimentos (Jiménez-Ariza *et al.*, 2014). Las temperaturas inadecuadas de almacenamiento es el segundo factor causante de enfermedades transmitidas por los alimentos, siendo el primero la microflora inicialmente presente en los alimentos (Laguerre *et al.*, 2013; Rodríguez-Bermejo *et al.*, 2007). El transporte y la logística tienen un papel significativo en el proceso, por lo que su supervisión, control y modelización para evaluar, simular y estimar el estado de la calidad con la que las cargas llegan a su destino tiene un claro interés práctico.

Los rápidos avances en sensores y comunicaciones inalámbricas ponen a nuestra disposición dispositivos de bajo coste y autónomos, desde el punto de vista de la fuente de alimentación y memoria, adecuados para la supervisión de procesos y almacenamientos. Estos dispositivos permiten crear redes de alta frecuencia de adquisición de datos en tiempo real, que hacen factible reconstruir la distribución temporal y espacial de variables tales como la temperatura (García *et al.*, 2007).

En este trabajo se persigue establecer una metodología para la monitorización completa en condiciones reales del producto desde el cultivo al consumidor, mediante registradores de temperatura baratos, robustos, con una respuesta dinámica adecuada y autónomos desde el punto de vista de energía y registro de datos; el objetivo es identificar los puntos críticos a lo largo del proceso. Se plantea también simular un historial térmico patrón (a partir de los datos reales) con el fin de comprobar la incidencia de las desviaciones con respecto a las temperaturas óptimas, en la evolución del producto respecto a la tasa respiratoria y a su calidad sensorial.

Material y Métodos

En este trabajo el material vegetal utilizado procedía de la empresa chilena OASIS, productora y comercializadora de hortalizas IV gama tipo gourmet y situada en la localidad de Lampa, al norte de Santiago. Se ha trabajado con lechugas *baby leaf* tipo *Salanova*® producidas en invernadero. Se realizó una monitorización continua de las condiciones de temperatura de las lechugas desde el invernadero hasta el final de su vida útil en la nevera del consumidor.

La red de sensores implementada estaba conformada por dos tipos de registradores:

a) tarjetas tipo RFID (identificadores por radio frecuencia) TurboTag 702B (Sealed Air, TurboTag, 702B, New Jersey, EEUU), que incorporan un sensor de temperatura con un rango de operación comprendido entre -55°C y 60°C y una precisión de $\pm 0,5$ °C, y una

capacidad de almacenamiento de 702 datos. La configuración de la tarjeta y la descarga de los datos al PC se realiza mediante el dispositivo RFID DR-1 con una interfaz de descarga a 13,56 MHz y al programa TurboTag Sessions Manager. El programa permite configurar el inicio de toma de datos, el intervalo entre datos, los límites superior e inferior de temperatura y la visualización del historial de temperatura.

b) dispositivos Hygochron™ i-button, que incorporan sensores de temperatura y humedad relativa, tienen un diámetro de 16 milímetros, aproximadamente el tamaño de una pila de reloj. Poseen un sensor de temperatura con un rango de medición de -20°C a 85°C con una precisión de $\pm 0,5$ °C y un sensor de humedad relativa con un rango de medición de 0 a 100% con una precisión de $\pm 5\%$. La configuración del sensor y la descarga de datos al PC se realiza mediante un dispositivo receptor Blue Dot™, la transmisión se realiza a 125 kbps utilizando un conector RJ45-1 con adaptador USB y al programa OneWireViewer. El programa permite configurar el inicio de toma de datos, el intervalo entre datos y la visualización del historial de temperatura y humedad relativa.

Durante los primeros días del mes de diciembre de 2014, se colocaron 15 tarjetas TurboTag® en el interior del invernadero, suspendidas a 40 cm del suelo y 9 sensores i-button en el interior de 9 lechugas dos días antes de ser cortadas (aproximadamente 45 horas); estas lechugas fueron marcadas para facilitar su identificación y seguimiento. Las lechugas, recolectadas de forma manual por los operarios se depositaron en cajas de recolección. Los sensores i-button recorrieron toda la línea de procesamiento junto con el producto, excepto en la fase de lavado por incompatibilidad del sensor con el agua, siendo incorporados posteriormente en el interior de la bandeja de producto acabado donde permanecieron durante el almacenamiento temporal, el transporte a punto de venta, la exposición en la góndola del supermercado y el almacenamiento en la nevera del consumidor. Adicionalmente, durante el almacenamiento temporal y el transporte, se incorporó una tarjeta TurboTag® en el lateral exterior de la caja de agrupación. La supervisión de la góndola en el supermercado se realizó mediante la localización de 12 sensores TurboTag® distribuidos en los tres niveles de altura; en cada nivel se dispusieron 3 tarjetas equidistantes en el frente de la góndola, y en el nivel inferior con doble profundidad se colocaron adicionalmente tres tarjetas en el fondo (Figura 1).

La colocación de los dispositivos i-button en el interior de los recipientes de productos IV gama presenta la dificultad de la exposición a una atmósfera saturada. Por ello se estudió el efecto de un encapsulado en la respuesta dinámica de los sensores, siendo sometidos a ciclos de ascenso y descenso de la temperatura. En estas condiciones los datos de humedad relativa no presentan información relevante para el presente estudio.

Tras la descarga y análisis de los registros de temperatura, se realizó una simulación en laboratorio en la que el producto era sometido a un historial térmico similar al seguido durante el procesamiento, la distribución y la venta. Se estudió la concentración de gases en el interior de los envases calculando la tasa respiratoria y se realizó un análisis sensorial (panel de 14 jueces con entrenamiento) sin degustación, contemplando los atributos de apariencia visual, color, firmeza, pardeamiento e intención de compra, en una escala de 1 a 14. Las determinaciones se hicieron en el día 1, 4, 7 y 10 de almacenamiento, realizando 3 repeticiones. Paralelamente se almacenaron idénticas muestras a la temperatura óptima de 5 °C a modo de referencia.



Figura 1. Invernadero de cultivo de lechuga tipo Salanova® (arriba, izquierda). Colocación de un sensor i-button en el interior de una lechuga antes de recolección (arriba, derecha), y en una bandeja de producto procesado (abajo, izquierda). Colocación de las tarjetas TurboTag en la góndola de exposición en el supermercado (abajo, derecha)

Se realizaron mediciones diarias de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en el interior de los envases mediante un analizador de gases manual (Checkpoint, PBI Dansensor, Ringsted).

Resultados y Discusión

Historiales térmicos: desde el invernadero a la mesa

La respuesta dinámica de los sensores i-button encapsulados no resultó significativamente distinta a la registrada por el mismo dispositivo sin recubrimiento (Figura 2). Se observa un aumento de 2-3 minutos en el tiempo necesario para pasar de 5 a 18 °C con el i-button encapsulado. La diferencia en el tiempo de respuesta no es limitante para la aplicación que se plantea, en la que la frecuencia de muestreo estuvo por encima de los 5 minutos.

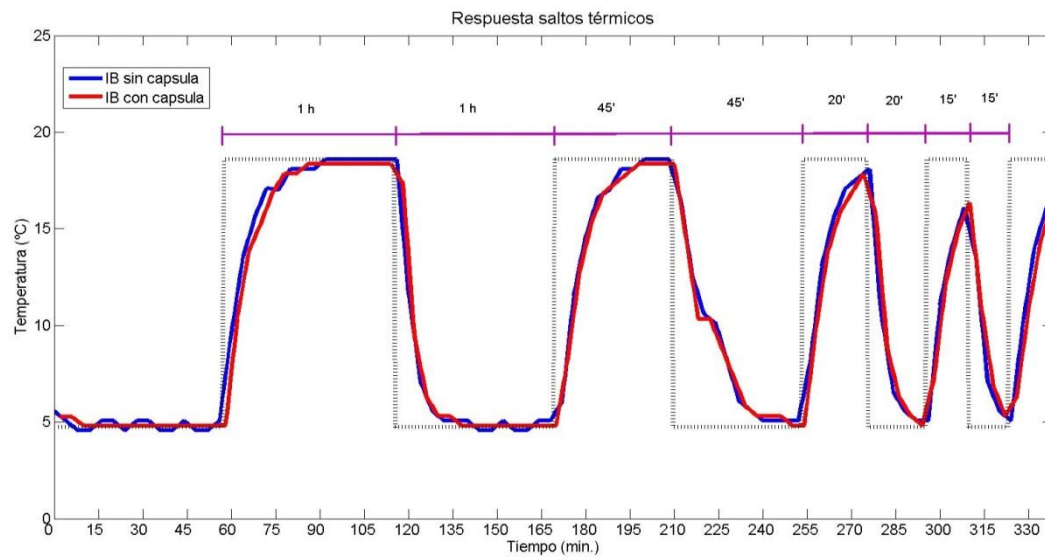


Figura 2. Registro de temperatura de sensores i-button con encapsulado y sin encapsulado, sometidos a ciclos de ascenso y descenso de temperatura.

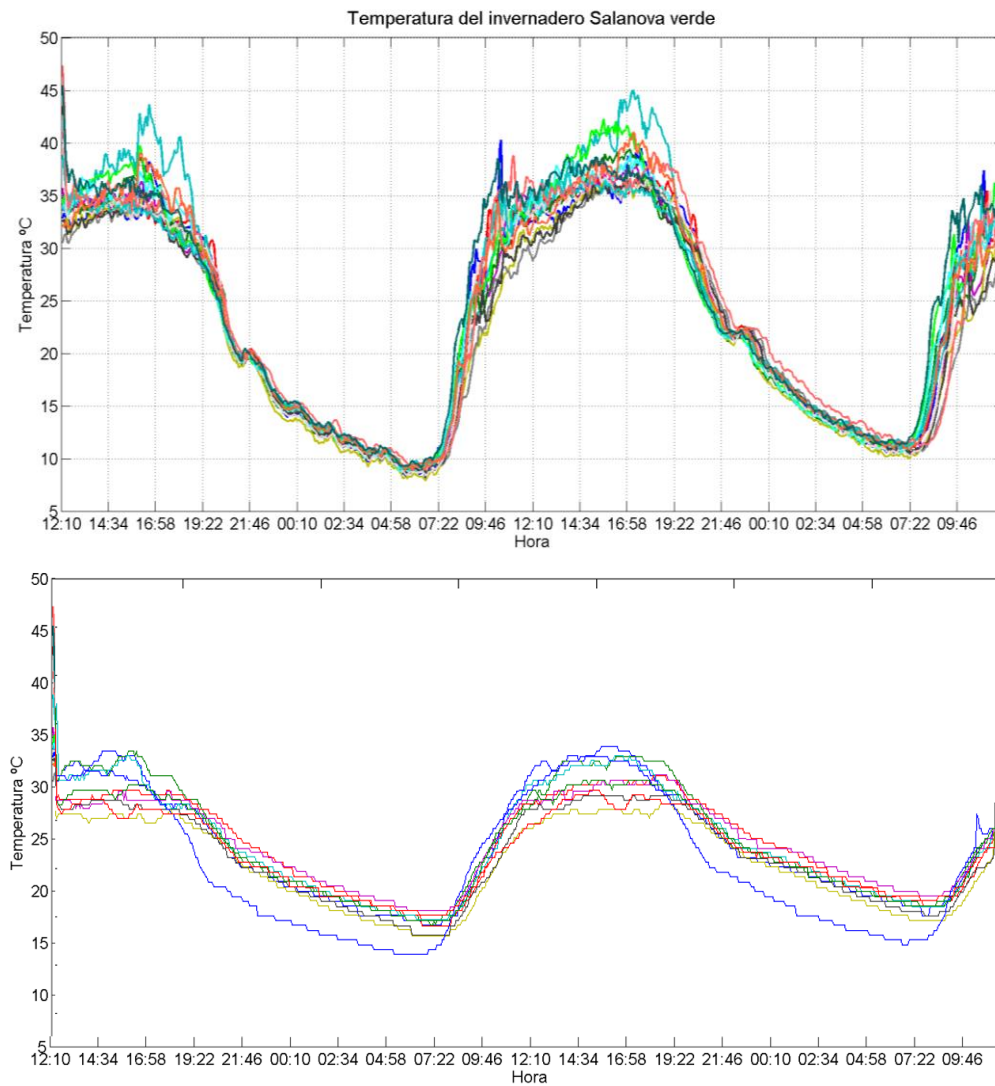
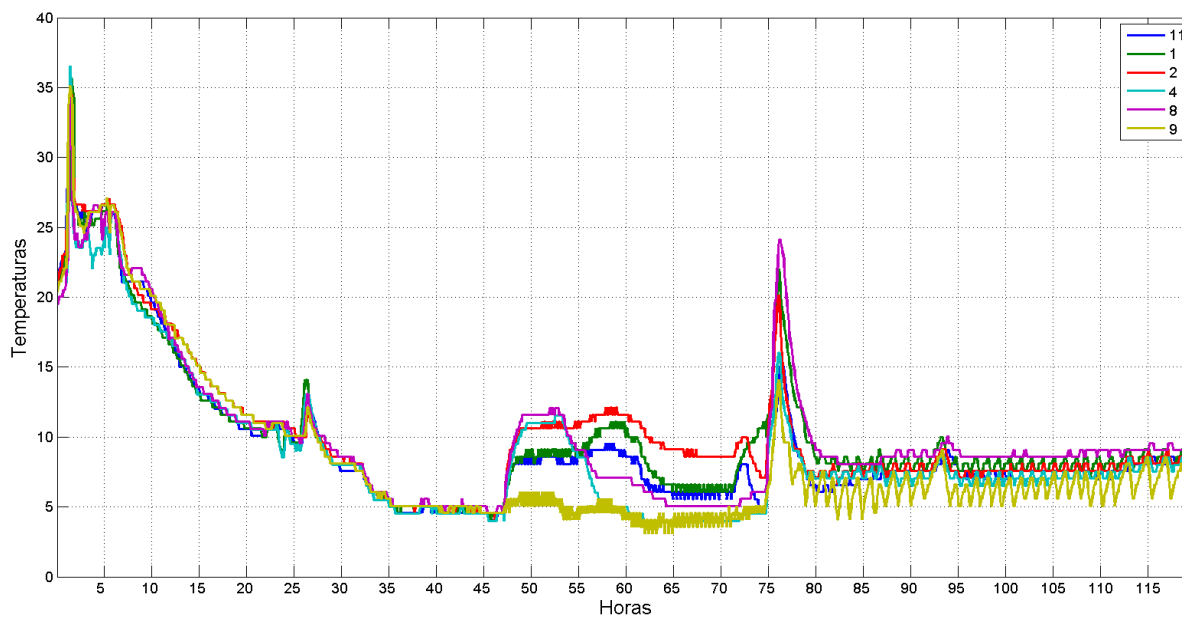


Figura 3. *Historial de temperaturas en los dos días previos a la recolección: temperatura del aire en el invernadero (arriba) y del interior de las lechugas supervisadas (abajo)*

En la Figura 3 (gráfico superior) se muestran los registros de temperatura correspondientes al ambiente en el invernadero durante los días previos a la recolección. Se observan los ciclos térmicos diarios, con temperaturas máxima y mínima de 48,5 y 7,9 °C respectivamente a lo largo de las 45 horas supervisadas. Similares fluctuaciones, pero amortiguadas, se observan en los registros de los sensores ubicados en el interior de las lechugas, con temperaturas máxima y mínima de 43,3 y 13,9 °C.

En la Figura 4 se presentan los registros correspondientes a los sensores i-button que se mantuvieron activos en el interior de las lechugas (antes de proceder a su lavado y deshojado) y en el interior de las bandejas, hasta alcanzar la fase de refrigeración en la nevera del consumidor final. Se observa que durante el periodo de refrigeración en la góndola del punto de venta se producen diferencias medias entre las unidades supervisadas de hasta 6°C, lo que representa las mayores variabilidades instantáneas de temperatura registradas en los diferentes envases durante una etapa de la cadena de frío. Esto se explica claramente al analizar los resultados de las tarjetas TurboTag colocadas para supervisar las condiciones ambientales en la góndola (Figura 5). Se aprecia que el punto frío en la góndola se localiza en la parte inferior trasera con una temperatura media de 3,6 °C; en el mismo nivel la disposición frontal supone estar expuesto a un aire con prácticamente el doble de la temperatura (temperatura media de 6,1 °C). La diferencia media de temperatura entre el nivel inferior (localización frontal) y el superior es de 2,2 °C. Se observa que las máximas temperaturas se registran durante el periodo de mayor afluencia de compradores al supermercado (entre las 17:30 y las 20:00 h).

Como era de esperar, otro momento crítico se produce durante el transporte al domicilio del consumidor. Fase en la que se registra en una de las unidades una temperatura máxima de 24 °C, mientras que la unidad que se mantuvo a menor temperatura en la góndola (siempre por debajo de 5,5 °C), en el transporte alcanza sólo 14°C. Durante las últimas 40 horas la supervisión corresponde a la fase de refrigeración en nevera doméstica; se aprecian entonces los ciclos de funcionamiento del equipo de frío, con fluctuaciones medias de 3°C por ciclo, para mantener una temperatura media de 7,7 °C. Si asumimos como aceptables temperaturas de almacenamiento de la lechuga IV gama de entre 4 y 8 °C (teniendo en cuenta que la temperatura óptima recomendada es de 4 a 5 °C, y que se admiten fluctuaciones máximas de +3 °C, según AECOC, 2003), se comprueba que del total de los registros estudiados entre la entrada en cámara de refrigeración y la salida de la nevera, el 51% está por encima de 8°C, y menos de un 1% está por debajo de 4°C. El proceso de enfriamiento al que el producto es sometido en la industria no es suficiente para alcanzar la temperatura óptima de almacenamiento al partir de una temperatura inicial de más de 25 °C (con un descenso de temperatura 0,75 °C/h). Las tarjetas dispuestas en las cajas de agrupación muestran comportamientos paralelos a los representados por los sensores en el interior de las bandejas en las fases de almacenamiento y transporte.



Temperaturas medias

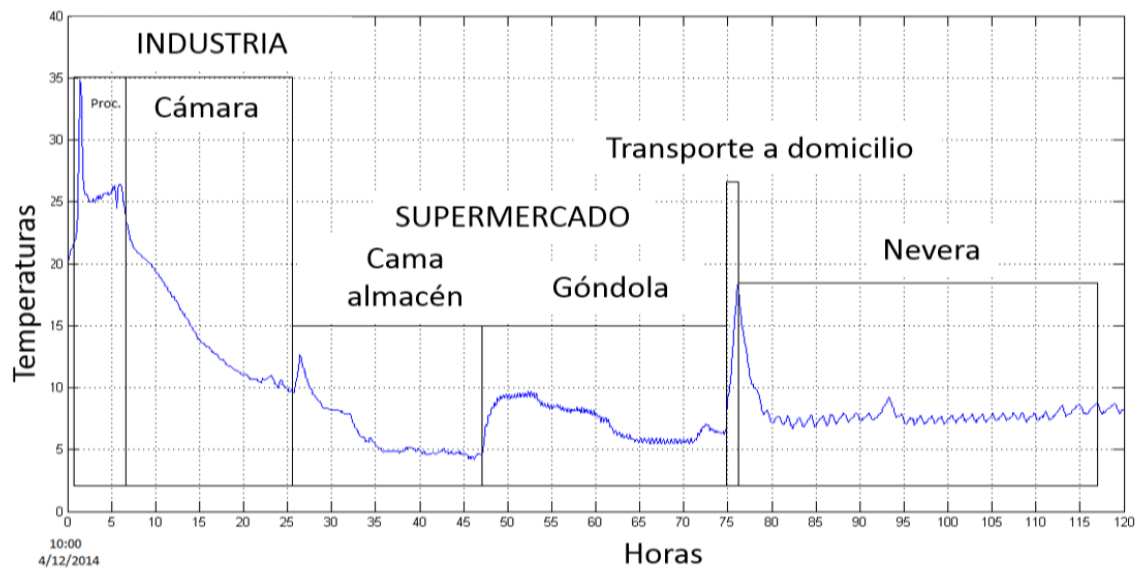


Figura 4. Historiales térmicos de 6 unidades de productos durante su vida útil (arriba), historial térmico medio (abajo)

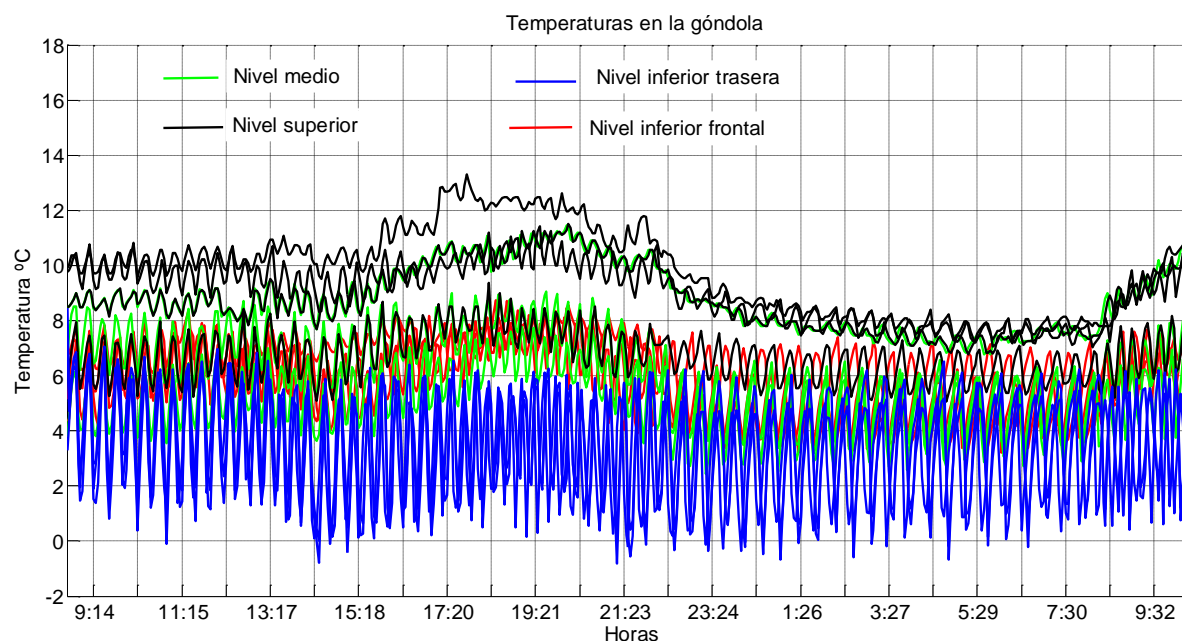


Figura 5. Historiales térmicos de 12 tarjetas TurboTag® en la supervisión de la góndola en el supermercado en el periodo comprendido entre las 8:13 h y las 10:33 h del día siguiente.

Simulación de los historiales térmicos en laboratorio y calidad del producto

El historial térmico registrado en condiciones reales se simplifica para la simulación en las cámaras de conservación. El producto se mantuvo en el envase original (bandeja plástica de 30 x 20 cm), sometido a 25 °C durante las primeras 5 horas, a 10 °C entre las 5 y las 96 horas de almacenamiento y a 7,5 °C hasta el final de su vida útil estimada en 10 días.

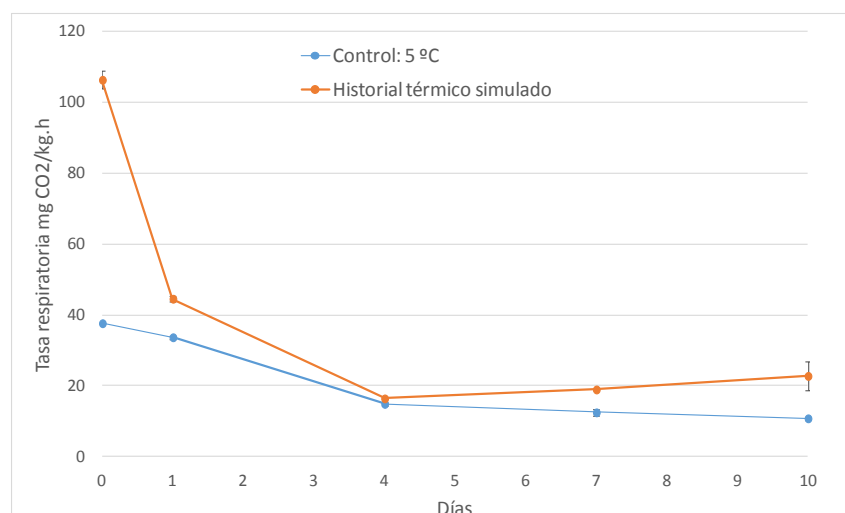


Figura 6. Tasa respiratoria a lo largo de 10 días de almacenamiento para muestras sometidas al historial térmico simulado (n=3) y a la temperatura óptima (n=3)

En cuanto a las tasas respiratorias registradas (Figura 6), cabe destacar la alta actividad que se produce como consecuencia de las temperaturas que simulan las condiciones del producto en el momento de la recolección (tiempo 0). Las mayores tasas respiratorias correspondientes al producto sometido al historial térmico simulado, con valores del doble respecto a las condiciones control al final de la vida útil (a los 10 días),

comprometen la calidad del producto como se demuestra en los resultados del análisis sensorial (Figura 7). El análisis sensorial muestra que desde el día 4 las muestras sometidas al historial térmico simulado presentan peores calificaciones en todos los atributos evaluados. En estas muestras la intención de compra se reduce drásticamente en el día 7.

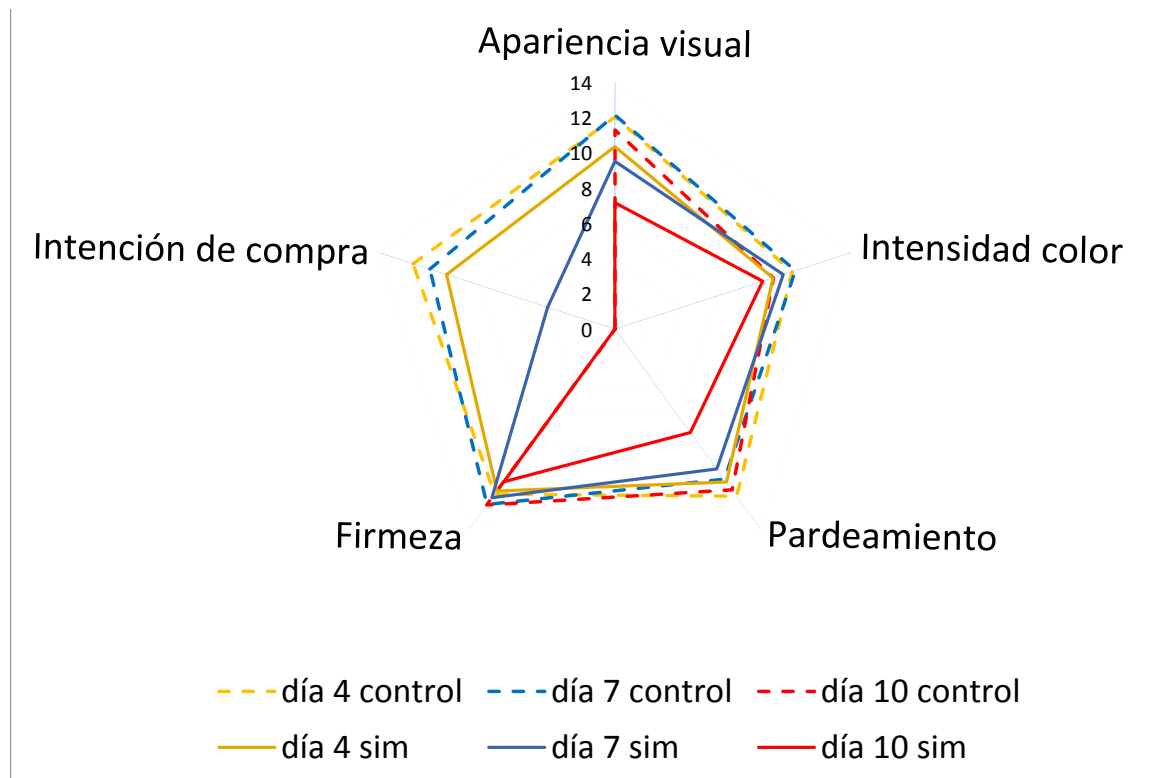


Figura 7. Evaluación sensorial a lo largo del almacenamiento de las muestras sometidas al historial térmico simulado y a la temperatura óptima

Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo la supervisión del proceso completo desde el cultivo hasta la comercialización y consumo de un producto de IV gama. Se ha verificado la viabilidad del encapsulado de los sensores para su uso en el interior de envases con ambiente a saturación.

Se ha comprobado que del total de los registros estudiados entre la entrada en cámara de refrigeración y la salida de la nevera del consumidor, el 51% está por encima de 8°C. Lo que contraviene las recomendaciones para la logística de AECOC, que establece un umbral de +3 °C durante breves periodos de tiempo.

Los puntos críticos identificados en este estudio se sitúan: en la recolección y entrada en la industria, en la que no se logra un descenso en la temperatura media del producto por debajo de 10 °C, lo que se sitúa muy por encima de las recomendaciones de almacenamiento refrigerado (entre 1 y 4 °C); en la góndola del supermercado, en la que se identifican gradientes verticales promedio de 0,5 °C por cada 10 cm de incremento de altura; y en el transporte hasta el domicilio del consumidor, con temperaturas de hasta 24 °C. Se ha comprobado la incidencia de estas fluctuaciones en la cadena de frío, evaluando la tasa respiratoria y la calidad sensorial del producto en condiciones

simuladas en laboratorio. Apreciándose a la mitad de la vida útil del producto un empeoramiento en los atributos de firmeza, pardeamiento, intensidad de color y apariencia visual en comparación con unidades de producto correctamente almacenadas.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto FREE-TRANS de referencia AL-PID-38, proyecto semilla aprobado en la Convocatoria de la Universidad Politécnica de Madrid para la Realización de Actividades con Latinoamérica a lo largo de 2014, y la Red Internacional CYTED Hortyfresco (113RT0480). Los autores agradecen la colaboración a las empresas OASIS de Lampa y a supermercados UNIMARC de Santiago (Chile), así como a la Universidad Politécnica de Madrid y al Campus de Excelencia Internacional CEI-Moncloa.

Bibliografía

- AECOC, 2003. Recomendaciones AECOC para la logística. Distribución de productos refrigerados de temperatura positiva.
- Garcia, M. R., Vilas, C., Banga, J. R., and Alonso, A. A. 2007. Optimal field reconstruction of distributed process systems from partial measurements. *Ind Eng Chem* 46, 530-539.
- Jimenez-Ariza, T., Correa, E. C., Diezma, B., Silveira, A. C., Zocalo, P., Arranz, F. J., Moya-Gonzalez, A., Garrido-Izard, M., Barreiro, P., and Ruiz-Altisent, M. 2014. The Phase Space as a New Representation of the Dynamical Behaviour of Temperature and Enthalpy in a Reefer monitored with a Multidistributed Sensors Network. *Food and Bioprocess Technol* 7, 1793-1806.
- Laguerre, O., Hoang, H. M., and Flick, D. 2013. Experimental investigation and modelling in the food cold chain: Thermal and quality evolution. *Trends Food Sci Tech* 29, 87-97.
- Rodriguez-Bermejo J., Barreiro P., Robla J.I., Ruiz-Garcia L. 2007. Thermal study of a transport container. *J Food Eng* 80, 517-527.

*SESIÓN XII: GESTIÓN
FORESTAL SOSTENIBLE*

GF01 - Estimación del volumen maderable de pinos silvestres mediante el uso de redes neuronales de base radial

Gonzalo-Vázquez, G.²; Ayuga-Téllez, E.¹, Castellanos, A.³, Sánchez-Medina, A.¹

¹ Buildings, Infrastructures and Projects for Rural and Environmental Engineering (BIPREE), Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n Madrid 28040 y e-mail: esperanza.ayuga@upm.es

² Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid.

³ Departamento de Matemática Aplicada, Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

Uno de los problemas tradicionales de la gestión forestal es la cubicación de madera del monte. La madera es uno de los recursos forestales que mantienen la sostenibilidad de los mismos. La correcta estimación de la cantidad de madera aprovechable es fundamental en este aspecto. Los métodos tradicionales emplean tarifas de cubicación o modelos sencillos a partir de variables más fáciles de medir que el volumen de madera del árbol. En el trabajo se estima el volumen maderable mediante redes neuronales de base radial (RNBR). Se utilizan para el estudio 83 árboles de *Pinus sylvestris* L. sitios en el pinar de Navafría (Comunidad de Castilla y León). Se comparó el resultado de la estimación mediante RNBR con modelos de regresión lineal y con la fórmula de Algan mediante la medida del error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R^2). Los resultados con RNBR fueron ligeramente mejores que con los otros métodos. Los resultados de los errores en los modelos de regresión y la fórmula de Algan fueron similares. Todos los métodos de estimación dieron errores inferiores a 0,05 y R^2 superiores al 90%.

Palabras clave: modelos estadísticos, cubicación, gestión forestal, comparación de modelos

Estimating Scots Pine Wood Volume with Radial Basis Neural Networks

Abstract

Cubication of standing timber is one of the traditional problems about forest management. Timber is one of the forest resources keeping up their sustainability. The right/proper estimation of the amount of useful timber is basic in connection with this subject. Traditional methods use cubication standards or simple patterns from easier to measure variables better than timber volume on each tree. In this project, we try to calculate timber volume by means of a radial basis neural network (RBF). It is used for analysing 83 *Pinus sylvestris* L. trees located on the Navafría pine forest (Castilla y León community). The result of the estimation obtained by means of a radial neural network (RBF) was compared with a regression method and the Algan formula making use of mean square error (MSE) and the coefficient of determination (R^2). Slightly better results were obtained than when using a radial basis neural network (RBF), if compared with all the other methods. Similar results were obtained with regression and Algan methods in connection with the error estimation. They are all smaller than 0.05 and the R^2 is over a 90%.

Keywords: Statistics Models, Cubication, Forest Management, Model Comparison

Introducción y/o Justificación

Un hecho importante al llevar a cabo inventarios forestales es la definición de las ecuaciones volumétricas adecuadas para cada estrato, que se determina normalmente por el material genético, el espaciamiento inicial del régimen de corta y la edad, dando lugar a ecuaciones específicas que se actualizará periódicamente. El empleo de recursos financieros y de tiempo en esta tarea es muy alto, por lo que se buscan maneras más eficientes de obtener adecuadas fórmulas de cubicación que resuelvan el problema. La madera es uno de los recursos forestales que mantienen la sostenibilidad de los montes

De manera general podemos decir que la aplicación de las redes neuronales artificiales a cualquier ámbito forestal mejora los métodos clásicos de, ya que permiten establecer una compleja regresión no lineal entre variables y además, no tener en cuenta las premisas del tipo de distribución de los datos, que sí se deben considerar en los modelos de regresión.

Sin embargo los modelos obtenidos no son interpretables debido al gran número de funciones implicadas en el proceso y a las relaciones múltiples entre ellas. Por lo tanto son una herramienta muy útil en el control y modelización, siempre y cuando lo que busquemos sea una solución fiable al problema planteado sin importar la forma en que obtengamos dicha solución.

El punto de partida de los trabajos de computación neuronal se puede localizar en el trabajo de McCulloch y Pitts (1943).

Las redes neuronales artificiales (RNA) como modelos que emulan el funcionamiento del sistema nervioso humano, constituyen un campo de la computación distinto de aquellos basados en los computadores tradicionales o en las arquitecturas paralelas clásicas, dando lugar a sistemas altamente complejos, no lineales y paralelos. Siendo su elemento fundamental la neurona artificial, ésta equivale a su homóloga en las redes neuronales naturales, si bien es importante mencionar la existencia de diferencias entre ambas, con la complejidad de la sinapsis (mucho mayor en la neurona biológica) como la más notoria. En el terreno artificial decimos que la sinapsis lleva asociado un peso que puede ser positivo (excita a la neurona) o negativo (la inhiben). Es menester así mismo comentar la similitud fundamental entre ambos sistemas (el natural y el artificial) que constituye uno de los aspectos más importantes y valiosos en el modelo que se expone en el presente trabajo: el procesamiento distribuido de la información, que se traduce en una tolerancia a fallos; es decir, en la posibilidad de funcionar correctamente estando dañado algún componente (Gonzalo-Vázquez, 2014).

Además de lo ya mencionado en cuanto a características constitutivas de los modelos de RNA, su capacidad de aprender de la experiencia, su aptitud para generalizar de ejemplos previos a ejemplos nuevos, la no necesidad de ser programadas, la abstracción de la principales características de una serie de datos y la modificación de su comportamiento en función del entorno son también propiedades de suma importancia en las redes neuronales artificiales.

Las RNA se han utilizado en la ingeniería forestal sobre todo en el campo industrial, en la fabricación de tableros y celulosa (para determinar propiedades mecánicas o defectos) y en la identificación de especies, en la detección de incendios, etc. (García et al, 2009). En un trabajo reciente (Diamantopoulou y Özçelik, 2012) se han empleado RNA para obtener relaciones entre alturas y diámetros normales del Cedro del Líbano, donde se comparan los resultados de las predicciones con modelos clásicos. También se están combinando fuentes de información digital con modelos RNN para realizar inventarios forestales (Mena y Montecinos, 2006; Wu y Ji, 2015)

Existen pocos trabajos (Scrinzi, Marzullo y Galvagni, 2007; Diamantopoulou y Milios, 2010) donde se aborde la cubicación del monte mediante RNA y aún menos que establezcan una comparación de metodologías. Se encontraron trabajos de comparación de resultados con diferentes características de redes (Gorgens *et al.*,

2009, Marques da Silva Binoti *et al.*, 2014) y comparación de estimaciones con modelos diferentes (Martínez Blanco, Sotto y Castellanos, 2012).

Material y Métodos

El lugar de trabajo es el Pinar De Navafría, monte número 198 del Catálogo de Utilidad Pública (C.U.P.) de Castilla y León y se encuentra en la vertiente Norte de la Sierra de Guadarrama, en la provincia de Segovia. Cuenta con 4436 hectáreas, de las que unas 2800 tienen masa arbórea con el pino silvestre como especie principal. La superficie del pinar dedicada a protección, está incluida en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, mientras que el resto de la misma pertenece a la Zona Periférica de Protección (ZPP) del parque. Su pendiente oscila entre el 10% y el 70%, teniendo una media del 40%. La ubicación geográfica del monte es la que sigue:

- Latitud: x= 4536000, y= 4545000
- Longitud: x= 426000, y= 435000

Su cota máxima es de 2209 m. y la mínima de 1300.

La especie de árbol elegida es el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y se justifica dicha elección por la calidad de su madera y por su considerable extensión dentro del territorio español y su abundante presencia en el Centro, Norte y Este de Europa.

Los datos proceden de 83 árboles tipo (árbol medio representativo de cada clase diamétrica para una determinada especie y calidad de estación) de la especie indicada. En éstos se midieron cuatro variables: la Edad (años), el Diámetro normal (cm), la Altura total (m) y el Volumen con corteza (m³).

Las muestras provienen de la novena revisión del proyecto de ordenación del monte. Para obtener los datos que se utilizan en este trabajo se apearon los pies dejando tocones de 30 centímetros en el suelo y cortando los fustes en trozas de un metro de longitud hasta los diez metros de altura del árbol, a partir de donde el tronzado se realizó cada dos metros. Este proceso se mantuvo hasta alcanzar el diámetro mínimo en punta delgada (7 centímetros). Los volúmenes fueron medidos para dichos fustes apeados, utilizando forcípula para hallar los diámetros extremos de cada una de las trozas y considerando las longitudes de las mismas (Gonzalo-Vázquez, 2014). La edad fue estimada por medio de los anillos de crecimiento observados en los cortes.

Según Basogain Olabe (2012), la clasificación de los diferentes modelos de redes artificiales se realiza en función, fundamentalmente, de dos aspectos: la Topología y el Mecanismo de Aprendizaje.

Según la topología se entiende la arquitectura como la organización y disposición de las neuronas artificiales formando capas. Los parámetros que aquí manejamos son: número de neuronas por capa, número de capas, tipo de conexión entre neuronas y grado de conectividad.

El mecanismo de aprendizaje, según Mendel y McLaren (1970) se define como “proceso por medio del cual, los parámetros libres de una red neuronal son adaptados a través de un proceso de estimulación por el ambiente en el cual la red se encuentra inmersa. El tipo de aprendizaje es determinado por la manera en la cual el cambio de parámetros

tiene lugar". Así, las diferentes redes diseñadas se atienen a alguno de los mecanismos a continuación expuestos:

- Aprendizaje Supervisado, en el que un agente externo o supervisor modifica los pesos para que la salida que emite la red se aproxime a la deseada.
- Aprendizaje No Supervisado. En el cual el entorno no informa acerca de si la salida de la red es o no correcta.
- Aprendizaje Híbrido. Existen dos fases: una supervisada y otra no supervisada.

Las Redes Neuronales empleadas en este trabajo son Redes Neuronales De Base Radial (RNBR), que pertenecen a la categoría de aprendizaje (híbrido). Son multicapa (generalmente cuenta con una capa oculta además de la de entrada y la de salida) y feedforward (Figura 1).

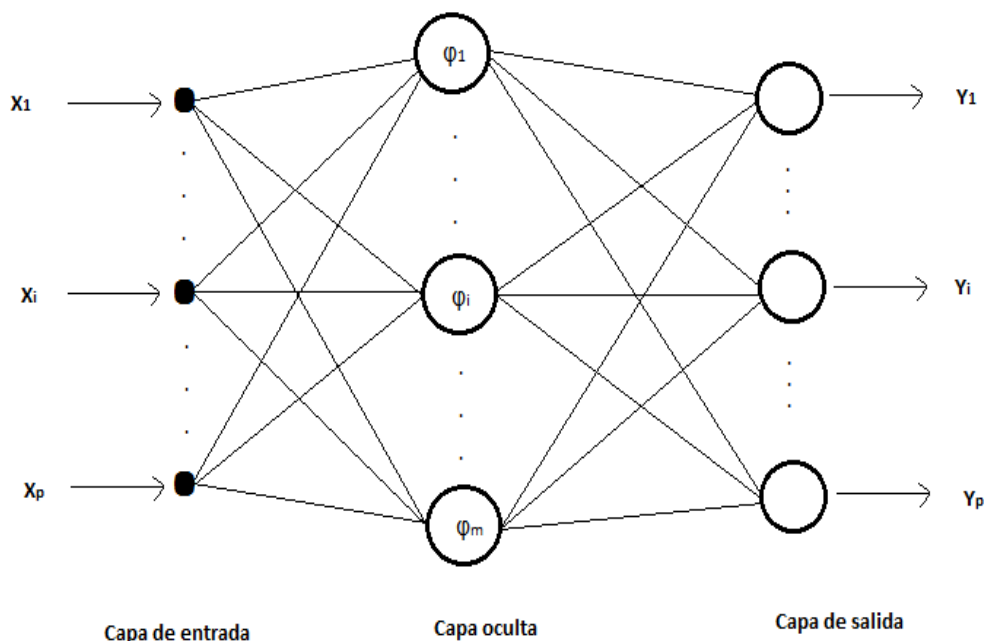


Figura 1. Esquema de una red de neuronas de base radial.

Estas son muy apropiadas cuando el conjunto de entrenamiento de la red es pequeño (como es el caso de estudio, el que se trabaja con una muestra de 83 árboles) y convergen rápidamente. En su forma de trabajo dividen el problema global en pequeños problemas locales. Según García Fernández *et al.* (2009), son las más utilizadas en el mundo forestal junto el Perceptron Multicapa o MLP y los Mapas Auto Organizados de Kohonen. Los diagnósticos médicos o el reconocimiento automático del habla son así mismo ejemplos en los que las redes de base radial funcionan bien.

Para estimar el volumen maderable del monte se emplearon dos modelos de RNBR

- RN1: con 12 neuronas en la capa oculta y tres variables independientes, la edad, el diámetro y la altura.
- RN2: con 4 neuronas en la capa oculta y dos variables independientes, el diámetro y la altura.

Los resultados obtenidos mediante las RNBR se comparan con otros modelos convencionales: dos estadísticos y una fórmula de cubicación. Los estadísticos son modelos lineales de regresión múltiple con 3 y 2 variables y el de cubicación utiliza la fórmula de Algan. Según López Peña (2010), esta fórmula de cubicación es similar a otras como la de Huber o la de Pressler aunque con variables medidas en los inventarios con más frecuencia:

- ML1: con tres variables independientes, la edad, el diámetro y la altura.
- ML2: con dos variables independientes, el diámetro y la altura.
- La ecuación de Algan

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \times F_x \quad (1)$$

donde V es el volumen, D el diámetro normal, H la altura total y F_x el coeficiente mórfico.

El coeficiente mórfico tiene valores que oscilan entre 0,40 y 0,57 para las especies españolas; concretamente para el *P. sylvestris* es de 0,51 si el tronco posee un diámetro normal inferior a 30 centímetros y de 0,43 en caso contrario.

Para comparar los resultados de la estimación se emplearon los estadísticos siguientes:

- Error Cuadrático Medio (MSE), de fórmula:

$$MSE = \frac{\sum_{j=0}^P \sum_{i=0}^N (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij})^2}{N P} \quad (2)$$

donde P es el número de grupos, N el tamaño de cada grupo, y_{ij} es el volumen medido y \hat{y}_{ij} es el volumen estimado con el modelo.

- R^2 = coeficiente de determinación dado en %, siendo la fórmula de R, en tanto por 1

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{j=0}^P \sum_{i=0}^N (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij})^2}{\sum_{j=0}^P \sum_{i=0}^N (Y_{ij} - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

donde \bar{y} es el volumen con corteza promedio de los árboles medidos.

Para obtener los modelos RN se empleó el programa Neurosolutions 5.0; se trata de un software desarrollado por la compañía NeuroDimension, con sede en Gainesville, Florida, USA. Ésta ha desarrollado dos productos principales: Neurosolutions y TradingSolutions.

Los modelos ML se calcularon con Statgraphics Centurion y para la obtención de \hat{y}_{ij} con la fórmula de Algan y la comparación de predicciones se utilizó Excel.

Resultados y Discusión

Los modelos RN no permiten una formulación en forma de ecuación. El tiempo de aprendizaje o tiempo de convergencia es de unos 2 minutos en los dos modelos utilizados.

El modelo RN1 muestra una sensibilidad de la red a la edad del 11% aproximadamente, mientras que para el diámetro es de 61% y del 28% para la altura. La edad es la variable que menos influye en el aprendizaje de la red.

El modelo RN2 muestra una sensibilidad de la red a la variable diámetro normal del 72% y del 28% para la altura. La altura influye de la misma forma en ambos modelos de red neuronal.

La ecuación del modelo ajustado ML1 es la siguiente:

$$V(m^3) = -1,61054 - 0,0010054*edad + 0,0473465*D(cm) + 0,0522232*H(m) \quad (4)$$

(0,00) (0,42) (0,00) (0,00)

En la Ecuación 4 se muestra entre paréntesis, debajo de cada coeficiente, el p-valor del test de la t para contrastar la significación del coeficiente. Para el coeficiente de la variable edad, no se puede rechazar que dicho coeficiente no sea significativo (p-valor>0,05), por lo que puede simplificarse el modelo, prescindiendo de la edad.

La ecuación del modelo ajustado ML2 es la siguiente:

$$V(m^3) = -1,64734 + 0,0462544*D(cm) + 0,0519774*H(m) \quad (5)$$

(0,00) (0,00) (0,00)

En ambos modelos se realizó la comprobación de la adecuación del modelo para explicar la variabilidad.

En la Ecuación 5 se muestra entre paréntesis, debajo de cada coeficiente, el p-valor del test de la t para contrastar la significación del coeficiente. Todos los coeficientes son significativamente distintos de cero en este modelo.

Por último la fórmula de Algan presenta una ecuación en función del producto entre el diámetro elevado al cuadrado y la altura, por lo que la influencia del diámetro parece mayor (de acuerdo con lo que se desprende del análisis de sensibilidad para las redes neuronales) que la de los modelos lineales de regresión, donde el coeficiente del diámetro es inferior al de la altura.

En la figura 2 se han representado el volumen real cubicado frente al estimado por los diferentes métodos.

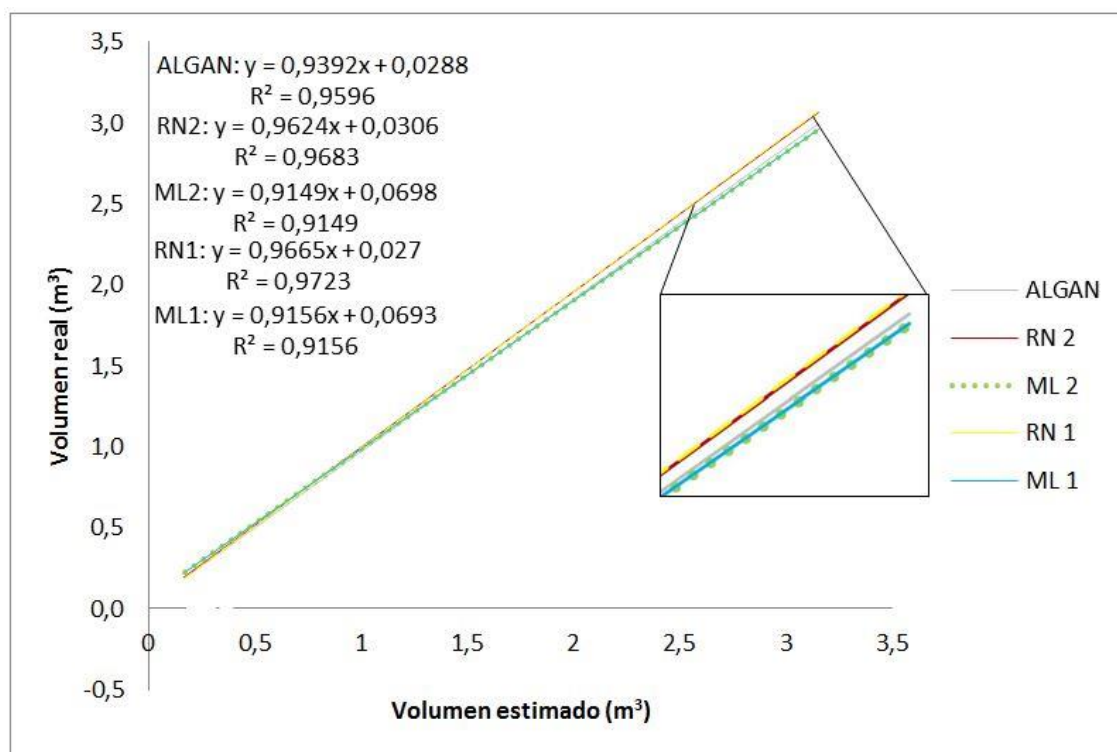


Figura 2: Volumen real (m^3) frente a volumen estimado (m^3) para los 5 métodos utilizados.

En la figura se muestran los resultados de los modelos de regresión lineal para los 5 métodos. Se observa como los métodos de regresión lineal (ML1, y ML2) presentan unos resultados muy similares, siendo las rectas de menor pendiente; del mismo modo ocurre con los dos modelos de redes neuronales (RN1 y RN2), presentando en este caso mayor pendiente que las anteriores. El modelo de Algan se sitúa en una posición intermedia entre ambos grupos.

En la tabla 1 se resumen los valores de los estimadores R-cuadrado (R^2) y Error medio cuadrático (MSE) para los 5 modelos.

Tabla1: Valores de MSE y R-Cuadrado para los 5 modelos estudiados

MODELO	MSE	R^2 (%)
RN1	0,0033	97,23
RN2	0,0040	96,83
ML1	0,0303	91,56
ML2	0,0300	91,49
ALGAN	0,0150	95,96

Como se observa, las mayores correlaciones se presentan en los modelos basados en Redes Neuronales y las menores en los modelos lineales de regresión. El método de Algan presenta una correlación intermedia entre ambos grupos. En cualquier caso, todos los estimadores de R-cuadrado están por encima del 90%. La fórmula de Algan y los modelos RNBR presentan más del 95% de variabilidad explicada por los modelos.

Todos los valores de MSE son inferiores al 0,05. Los valores más bajos son los de los modelos de las Redes Neuronales y los más altos los de los modelos lineales de regresión y el método Algan vuelve a presentar valores intermedios entre ambos.

Los resultados de los modelos obtenidos con dos variables son muy similares a los obtenidos con las tres variables consideradas, tanto en el caso de la regresión múltiple, como en el de Redes Neuronales.

Estos resultados son comparables a los obtenidos en el trabajo de Martínez Blanco, Sotto y Castellanos (2012) donde se emplearon datos de 150 ejemplares (masa de *Eucaliptus* y *Pinus*, en Asturias) con sólo las variables diámetro y altura para estimar el volumen. En dicho trabajo se utilizó un modelo de regresión (con un MSE de 0,01) y la fórmula de cubicación de Huber (con MSE de 0,04) para comparar con el modelo RNBR (MSE de 0,003), siendo éstos últimos los más similares a nuestro análisis en cuanto a valor del error. Se puede comprobar que, en este trabajo, con menos ejemplares pero de una sola especie, las estimaciones con métodos tradicionales mejoran (aunque no de forma considerable), mientras que los resultados con RNBR son muy similares.

Conclusiones

Los resultados expuestos reflejan que los modelos basados en Redes Neuronales consiguen unos ajustes muy buenos, incluso mejores que los modelos lineales de regresión y, en este caso, el calculado según la fórmula de Algan.

En este trabajo se muestra que la Red de base radial es capaz de aprender con pocos patrones. Esto la convierte en una alternativa eficaz a la hora de realizar las estimaciones de cubicación. Además, es previsible pensar que puedan ser igualmente válidas para otro tipo de variables dasométricas.

La facilidad en el manejo de los programas informáticos que incluyen módulos de cálculo de Redes Neuronales es clave para utilizarlos de una manera habitual dentro del ámbito forestal.

La cubicación de árboles en el monte es una de las tareas que exigen mayor esfuerzo técnico y económico dentro de la gestión forestal. Los resultados del presente trabajo permiten suponer que el uso de Redes Neuronales para las tareas de inventariación forestal puede significar, en un corto plazo, un ahorro de costes en su gestión.

Bibliografía

- Basogain Olabe, X., 2012. Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones. Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Bilbao. Visto en [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299018/11 -
Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299018/11_-_Redes_neuronales_artificiales_y_sus_aplicaciones.pdf) el 23-3-2015.
- Martínez Blanco, A., Sotto, A., & Castellanos, A. 2012. Prediction of the amount of wood using neural networks. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 11(3), 295-307.
- Diamantopoulou, M. J., & Milios, E., 2010. Modelling total volume of dominant pine trees in reforestations via multivariate analysis and artificial neural network models. *Biosystems Engineering*, 105, 306-315.
- Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R., 2012. Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean Region of Turkey, *Forest Systems*, 21, 383-397.

- García Fernández, F., García Esteban, L., De Palacios De Palacios, P., Guindeo Casasús, A., 2009. Aplicación de las Redes Neuronales a la Ingeniería Forestal. V Congreso Forestal Español, Avila 21-25 de septiembre de 2009, 1–15. Visto en <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/8222/8145> el 20-2-2015
- Gonzalo-Vázquez, G., 2014. Estimación de volumen de madera por medio de redes neuronales y análisis comparativo con un modelo de regresión lineal y con la fórmula de Algan. Trabajo fin de carrera de Ingeniería de Montes. ETSI Montes, UPM, Madrid.
- Gorgens, E. B., Leite, H. G., do Nascimento Santos, H., Gleriani, J. M., 2009. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais, Revista Árvore, 33, 1141-1147. Visto en : http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000600016&lng=en&nrm=iso el 25-3-2015
- López Peña, C., 2010. Dasometría. OCW UPM - OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid Visto en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/dasometria> el 3-9-2013
- Marques da Silva Binoti, M.L., Breda Binoti, D.H., Garcia Leite, H., Ribeiro Garcia, S.L., Ferreira, M.Z., Rode, R., Araújo Lopes da Silva, A. 2014. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores, Revista Árvore, 38(2), 283-288. Visto en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000200008&lng=en&nrm=iso el 13-5-2015
- Mena Frau, C., Montecinos Guajardo, R., 2006, Comparación de redes neuronales y regresión lineal para estimar productividad de sitio en plantaciones forestales, utilizando geomática. Bosque (Valdivia), 27, 35-43.
- Mendel, J. M., McLaren, R. W., 1970. Reinforcement learning control and pattern recognition systems, In Mendel, J. M. and Fu, K. S., editors, Adaptive, Learning and Pattern Recognition Systems: Theory and Applications, pages 287-318. Academic Press, New York
- McCulloch, W. S., Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5, 115-133.
- Scrinzi, G., Marzullo, L., Galvagni, D., 2007. Development of a neural network model to update forest distribution data for managed alpine stands. Ecological modelling, 206, 331-346.
- Wu, D., Ji, Y., 2015. Dynamic Estimation of Forest Volume Based on Multi-Source Data and Neural Network Model. Journal of Agricultural Science, 7, 18– 31.

SESIÓN XIII

INNOVACIÓN EDUCATIVA EN
AGROINGENIERÍA

IA01 - Los estudios de Master con orientación técnica en la UMH.

Una aproximación al perfil de los estudiantes del Master MATRE

Melián Navarro, A.¹; Ruiz Canales, A.²; Molina Martínez, J.M.³

¹ Departamento de Economía Agroambiental, Universidad Miguel Hernández. Ctra de Beniel. Km. 3,2 03312 Orihuela (Alicante) amparo.melian@umh.es. ²Departamento de Ingeniería. Universidad Miguel Hernández acanales@umh.es. ³ Universidad Politécnica de Cartagena. jm.molina@upct.es

Resumen

En los últimos años y atendiendo a una demanda creciente de formación on line, la Universidad Miguel Hernández (UMH) ha incrementado su oferta formativa de materias técnicas en sus respectivos campus, siguiendo una modalidad de enseñanza semipresencial. Fruto de esta iniciativa se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) el Master Universitario en Automatización y Telecontrol de Recursos Hídricos y Energéticos (MATRE) reconocido por el Ministerio de educación como Master oficial. En este trabajo se efectúa una aproximación al perfil de los estudiantes de dicho master en los años de impartición como master oficial, en aspectos tales como procedencia geográfica, titulación académica de acceso, relación laboral, y otros como principales resultados académicos e índice de satisfacción con la docencia.

Palabras clave: automatización, docencia, enseñanza on line, ingeniería

Technical orientation of the Master Degrees in UMH University. An approach to the student's profile of the MATRE Master degree.

Abstract

In the last years, in the educational field, an increasing demand for on line training has been developed. For this reason, in all the campus of the Miguel Hernández University of Elche (Spain), the training offer in several technical subjects for on line training has been increased. An example of this training offer is the modality of blended learning. In this line, the University official Master's Degree in Automation and Remote Control for Water and Energy Resources, which it has been recognised as Official Master Degree by the Ministry of Education of Spain, is imparted as blended learning in the High Polytechnic School of Orihuela (HPSO-EPSO). In this work, an approach to the profile of the students of this official Master's Degree during all the previous editions is carried out. Several aspects as geographical origin, academic qualification for the access, work relation and others as main academic results and the satisfaction index with the teaching are described.

Keywords: automation, teaching, on line training, engineering

Introducción y/o Justificación

Los estudios de postgrado son los que marcan la diferenciación formativa del estudiante universitario con los nuevos planes de estudios de Bolonia, lo que ha generado una oferta masiva de éstos. Las nuevas tecnologías, el uso de las TICs y la docencia virtual, semipresencial u on line (Karagiannopoulou y Milienos, 2015; Karakaya y Demirkan, 2015; Liu et. al. 2014, Navarro González *et al.*, 2015; Rocamora *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2015) todavía ha permitido más su extensión.

La escasez de recursos y la necesidad de optimizar el aprovechamiento de inputs exige un Master pionero en gestión y eficiencia para el uso del agua y la energía en instalaciones. Este es el caso del Master en Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos que fue aprobado por el Ministerio de

Educación como Master Oficial en 2011 después de varias ediciones como Master de título propio y anteriormente con un contenido docente menor y menor carga crediticia como Curso de perfeccionamiento en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH) (Ruiz-Canales, *et al.*, 2011).

Es objeto de este trabajo analizar la oferta formativa de dicho Master en el contexto de los masters oficiales de la UMH, el perfil del alumnado que accede a él, y los resultados académicos obtenidos durante los tres últimos cursos académicos. Para ello en este primer epígrafe se presenta la oferta formativa de la UMH, así como se describe el Master Oficial objeto de estudio. En el segundo se analiza el perfil del alumnado atendiendo a diversos criterios. En el tercero se cuantifican los resultados académicos y su índice de satisfacción con el master según documentación interna. Por último se exponen las conclusiones.

La Universidad Miguel Hernández presenta una oferta formativa en el actual curso académico 2014-15 de 44 Masters oficiales, en distintas áreas como tecnología, derecho, ciencias de la salud, arte, humanidades, ciencias económicas y empresariales, e impartidos en sus 4 Campus: Elche (24), Orihuela (9), Altea (1) y San Juan (10).

En la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Tabla 1) éstos se imparten mayoritariamente de forma semipresencial utilizando la plataforma Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment). Se ha escogido a nivel institucional esta plataforma porque está ampliamente aceptada, disponía de más de 50.000 registrados a principios de 2009, y se utiliza de forma masiva en enseñanza superior y universitaria (Lathrop y Foss, 2000; Martín-Blas y Serrano-Fernández, 2009; Padilla-Melendez, *et al.*, 2015; Romero *et al.*, 2008), aunque existe también aplicación en otras etapas de enseñanza (Chen, *et al.*, 2014). Mediante dicha plataforma se compatibiliza la enseñanza on line (contenidos teóricos y prácticos), con la asistencia a algunas sesiones, seminarios, visitas de campo y exámenes.

Los Masters de 60 créditos ECTS (European Credit Transfer System) se imparten en un único curso académico (2 semestres) y los de 90 créditos en dos (3 semestres). Todos pertenecen a la rama de enseñanza de Arquitectura e Ingeniería, salvo el Investigación en Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos que pertenece a la rama ciencias.

Junto con el Master en Gestión y Diseño de Proyectos e Instalaciones, el Master en Energía Solar y Renovables, el Master en Ingeniería Industrial, Telecomunicaciones y el Master en Óptica (los cuatro últimos en el campus de Elche) se conforma la oferta formativa de perfil técnico de Master en la UMH.

El Master en Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos, objeto de análisis en este trabajo, es un Master Oficial de 60 créditos ECTS, que se imparte en un único curso académico en la modalidad de enseñanza semipresencial, pertenece a la Rama de Enseñanza de Ingeniería y Arquitectura, tiene orientación Profesional, aunque se permite su continuidad con estudios de doctorado.

Se imparte desde el curso académico 2012-13 como Master oficial aunque tiene sus antecedentes en un Master de Título Propio impartido desde 2009-2010, en periodos bianuales. (http://epsovirtual.umh.es/master_hidricos/).

Tabla 1. Relación de estudios de Master Oficial en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) utilizando la plataforma Moodle

Titulación	Nº ctos ECTS	Orientación
Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo	60	Profesional
Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos	60	Profesional
Gestión y Diseño de Proyectos e Instalaciones	60	Profesional
Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos	60	Investigación
Ingeniería Agronómica	90	Profesional
Investigación en Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos	90	Investigación
Técnicas Avanzadas para la Investigación y Producción en Fruticultura	60	Investigación
Valoración, Catastro y Sistemas de Información Territorial	60	Profesional
Viticultura y enología	60	Profesional

Se estructura en dos semestres académicos ambos de 30 créditos ECTS. En el primero se abordan los aspectos específicos de la material principal (Automatización y Telecontrol), y en el segundo semestre, se programan las asignaturas cuyos contenidos van encaminados a intensificar los conocimientos en dos áreas temáticas: a) Automatización de Recursos Hídricos y b) Automatización de Recursos Energéticos, así como el Trabajo Fin de Master, y una asignatura de carácter transversal en aspectos económicos y de redacción de proyectos. Las dos áreas temáticas citadas le confieren cierta optatividad al Master (Ruiz-Canales, *et al.*, 2011)

La oferta académica es de 78 créditos ECTS programados en IV Módulos. Los alumnos han de cursar de forma obligatoria el Módulo I (36 ctos) y el Módulo IV (6 ctos TFM). Los Módulos II y III conforman las asignaturas optativas de las que se escogen 18 créditos.

El interés profesional del título se concreta en un enfoque eminentemente práctico para la elaboración de nuevos dispositivos de Automatización y Telecontrol en el Sector Medioambiental y de la Gestión de los Recursos Naturales. Entre los dispositivos más destacables que se pueden desarrollar a partir de la adquisición de conocimientos en

este Master destacan los siguientes: sistemas SCADA, aplicaciones para dispositivos móviles y aplicaciones para control en tiempo real, entre otros.

Aunque muchos de los aspectos que se citan en el Master se tratan en diversas carreras técnicas, el enfoque multidisciplinar y práctico de las materias se presenta como novedoso en el panorama universitario. Las materias descritas en este Máster permiten a los profesionales del sector encontrar un nuevo nicho de trabajo y generador de empleo. Mediante el desarrollo tecnológico y científico en este sector se potencia una línea tecnológica con bastantes posibilidades de trabajo y adaptación a las circunstancias socioeconómicas.

De hecho, la finalidad general del Máster es formar profesionales especialistas multidisciplinarios en el ámbito de la Ingeniería, enfocados a la gestión del agua y la energía mediante las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Adicionalmente será un medio de transmisión y punto de encuentro del conocimiento y de los desarrollos tecnológicos entre los agentes del sistema I+D+i y el resto de la sociedad.

El perfil de ingreso al Máster es de titulados de las diferentes ramas y grados de las Ingenierías sobre las que versa el Master, aunque también se contempla en situaciones especiales la admisión de titulados de otras disciplinas científicas.

El profesorado que participa procede de ocho Universidades españolas (además de la UMH, la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Universidad de Santiago de Compostela (USC). Universidad de Córdoba (UCO), Universidad de Almería (UAL), Universidad de Alicante (UA) y de Sevilla (US), así como de otros centros de investigación (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Centro de Edafología y Biología Aplicadas del Segura (CEBAS-CSIC), Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario (IMIDA) y Confederación Hidrográfica del Segura (CHS)). El 90% del profesorado tiene el grado de doctor.

Toda la formación citada previamente alterna la modalidad on-line mediante la plataforma Moodle con la formación presencial (Singh, *et al.*, 2015). En las propuestas docentes se ha contado con la colaboración de diversas empresas del sector. Esto ha permitido posteriormente establecer convenios de colaboración entre diversas empresas y los centros de investigación implicados para investigaciones conjuntas y desarrollos tecnológicos (Ruiz Canales, *et al.*, 2011).

La plataforma también dispone de un apartado para la divulgación. En ella se informa de los hitos de divulgación conseguidos por los investigadores-profesores del Master, así como las conferencias, foros, jornadas (entre otros) en los que se ha participado. Es, por otra parte, un medio de difusión para las prácticas de empresas y posterior inserción laboral de los estudiantes, ofertas de empleo y/o becas.

Perfil del estudiante del Master Universitario en Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos

Desde la primera edición como Master Oficial han transcurrido tres cursos académicos, incluyendo el actual. Considerando que el próximo curso se impartirá como Master

Interuniversitario es un punto de inflexión para estudiar el perfil del estudiante que ha accedido a este Master y proceder a su caracterización atendiendo a diversos criterios tales como: género, edad, procedencia geográfica, procedencia universitaria, titulación previa, etc.

En lo que se refiere a la matrícula, el número de estudiantes ha ido creciendo en los tres cursos académicos. Si bien la oferta total permitía hasta los 30 estudiantes, las cifras que se han alcanzado han sido mucho menores, 10, 13 y 15 respectivamente (lo que supone una tasa de matrícula media del 43%). Ello puede ser debido a la etapa de crisis que se está viviendo y la demanda escasa de estudios de Masters, no por su interés que es manifiesto a todos los niveles como complemento de formación y adaptación curricular especializada, cada uno en sus áreas, sino por las circunstancias tanto de aumento de tasas académicas como de restricciones presupuestarias para formación, ya que las cifras son similares a otros masters ofertados por la UMH y en particular impartidos en la EPSO durante dicho periodo. La figura 1 muestra la matrícula, así como su agrupación por género en cada curso, observando la alta participación de hombre frente a mujeres, con un porcentaje del 80-85% de hombres frente al 20-15% mujeres, verificando que sigue existiendo y se traslada a esos estudios de Master la brecha de género respecto a las titulaciones técnicas.

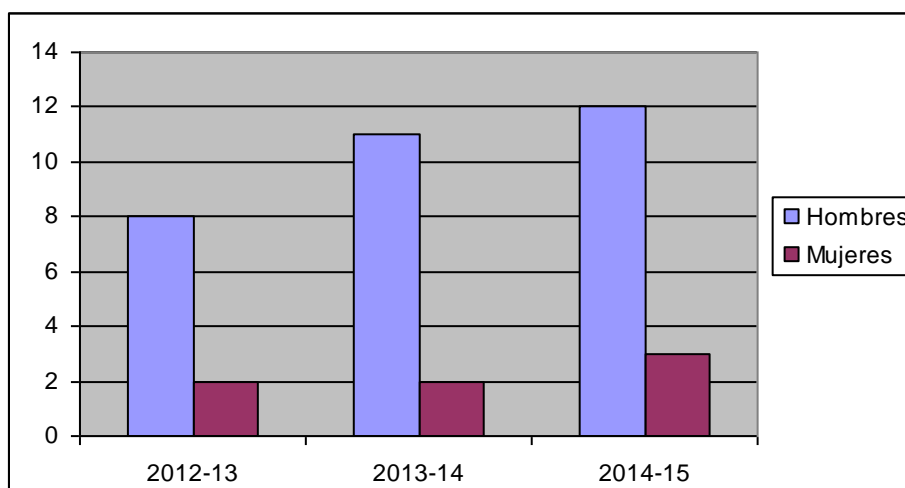


Figura 1. Evolución del número de matrícula estudiantes MATRE (TNR 10)

Por rango de edad, del total de la matrícula (Figura 2), la mayor demanda se localiza en estudiantes de 31 a 35 años (34%) y de 36 a 40 (21%), lo que supone que son principalmente profesionales que están ya en el mercado de trabajo y que desean completar su formación en una materia novedosa, y demandada y con proyección laboral. De hecho, tal y como se observa en la figura 3, un elevado porcentaje de estudiantes compatibilizan trabajo con estudios (70%), lo que hace especialmente adaptable este tipo de modalidad de docencia semipresencial.

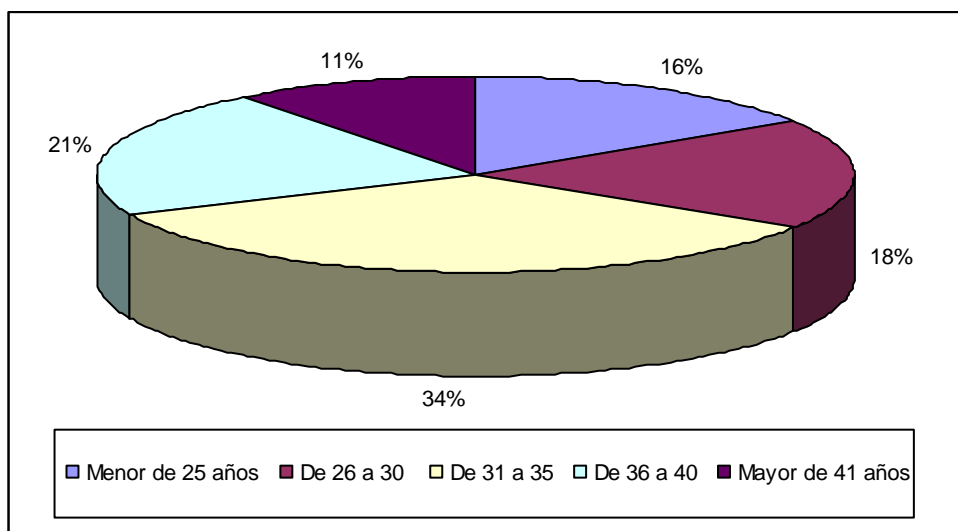


Figura 2. Distribución porcentual del número de estudiantes MATRE por tramos de edad

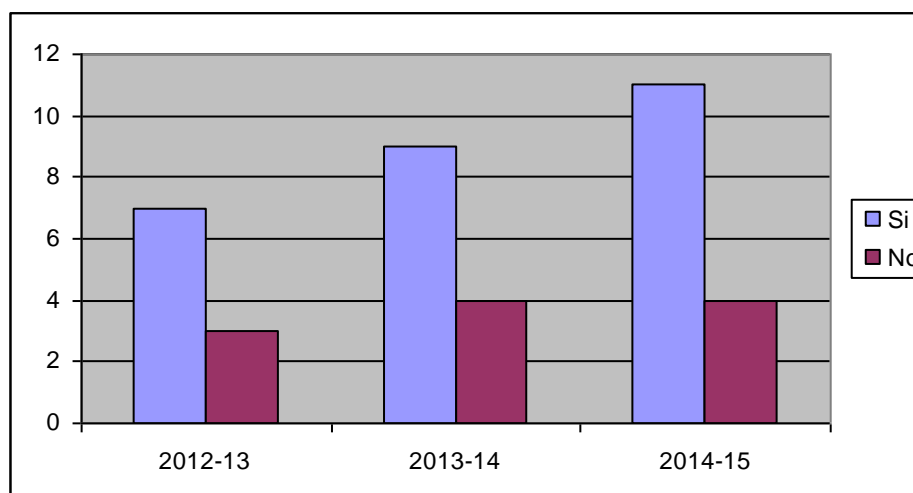


Figura 3. Número de estudiantes MATRE que compatibilizan trabajo y estudios

Si se analiza la procedencia y origen de los estudiantes atendiendo a tres criterios: 1) universidad de origen, 2) procedencia geográfica y 3) estudios previos cursados, observamos que sobre el total de 38 matrículas, primer criterio, la mayoría (64%) proceden de otras Universidades (Figura 4). La accesibilidad y difusión de este master, así como el hecho de que entre su profesorado se cuente con docentes de varias Universidades españolas propicia esta difusión. El primer año de edición los valores fueron semejantes, en el curso actual también se aproximan pero sobre todo es en el curso anterior cuando prácticamente se cuatuplicaron.

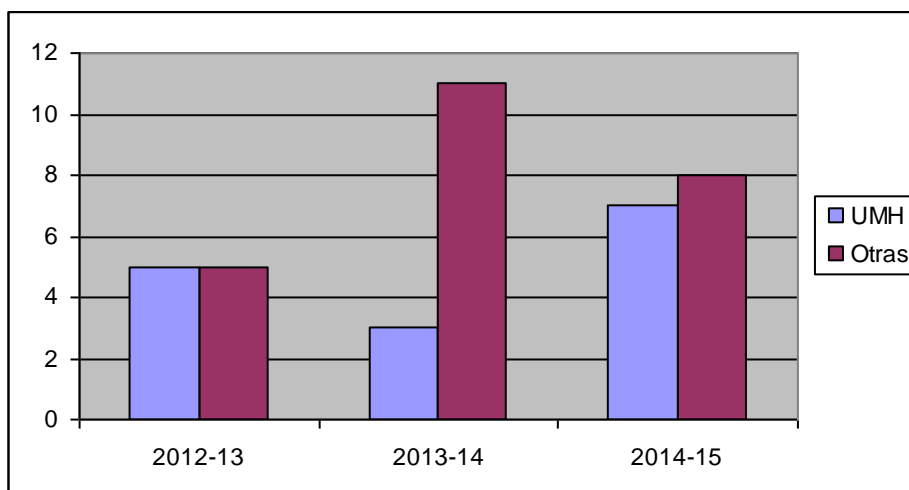


Figura 4. Procedencia de los estudiantes del master MATRE según Universidad de origen

En lo relativo a formación previa la mayoría acceden con la titulación de Ingeniero Técnico Agrícola (29%), seguido de Ingeniero Agrónomo (26%), otras carreras técnicas Ingeniero Técnico Industrial (13%), Ingeniero de Caminos Canales y Puertos (8%), Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones e Informática (5% ambos), Obras Públicas, Ingeniero Naval, e Ingeniero Técnico en Electrónica (3%), Otros estudios (no técnicos, 5%). (Figura 5). Como se puede observar en lo relativo a la variable perfil académico es eminentemente técnico y agrario (55%).

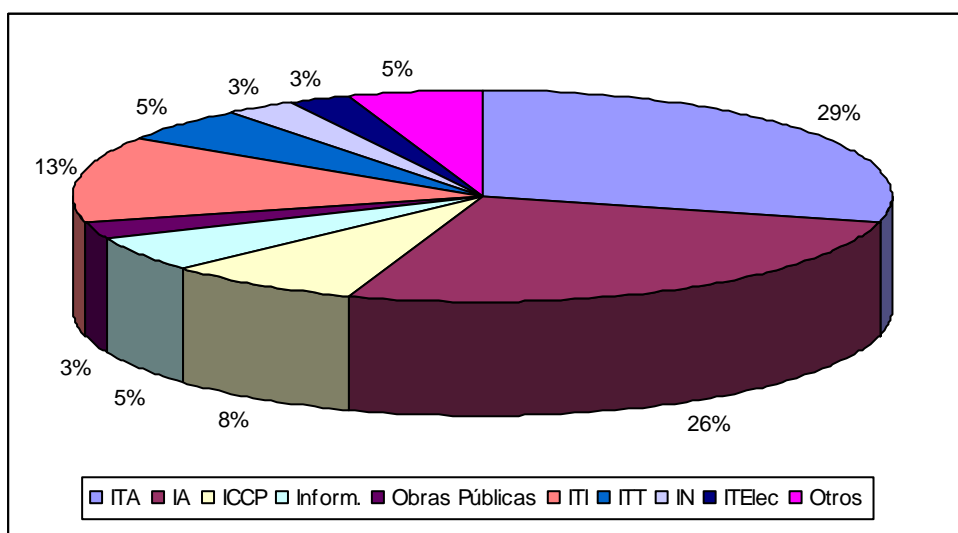


Figura 5. Titulación previa acceso estudiantes master MATRE

Por último y también indicativo de la difusión y accesibilidad del Master vinculada a la docencia semipresencial del mismo, destacar que la procedencia geográfica de los estudiantes, aunque si bien se vincula sobre todo al área de influencia de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (C.Valenciana (principalmente Alicante) y Murcia), se amplía con alumnos de toda la geografía española (Figura 6).

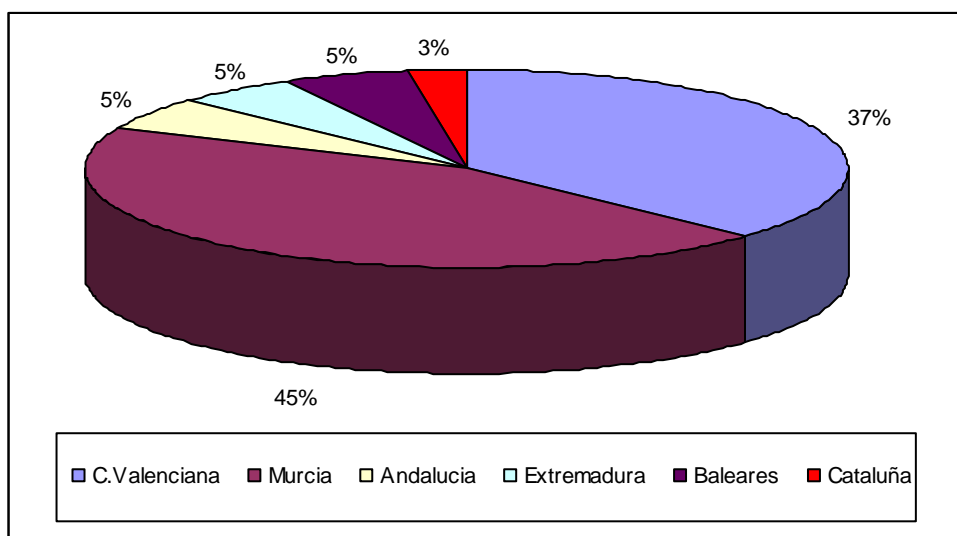


Figura 6. Procedencia geográfica estudiantes master MATRE

De hecho si lo analizamos por cursos académicos, el primero contó con alumnos casi exclusivamente de la Región de Murcia, un 70%, seguidos de la C.Valenciana provincia de Alicante y un único alumno de Andalucía. En el siguiente curso, se incorporaron alumnos de Extremadura y Baleares y se incrementaron los alumnos de la C.Valenciana frente a Murcia, en el tercer curso predominan los alumnos de la C.Valenciana y se han incorporado otros de Cataluña.

Resultados académicos e inserción laboral

Con independencia de los resultados académicos estrictos que se derivan de un análisis de los expedientes académicos y de la tasa de éxito, es interesante conocer también la opinión y grado de satisfacción de los estudiantes con respecto a la materia recibida y las expectativas personales y profesionales que tenían sobre el Master.

En general los alumnos han compatibilizado su trabajo como estudiante con otra actividad profesional lo que ha limitado las opciones de aprobar todas las materias por curso. No obstante el grado de asignaturas aprobadas frente a las presentadas ha sido muy alto. Prácticamente todos los alumnos haciendo uso de una o dos convocatorias han superado todas las asignaturas a las que se han presentado en un curso académico.

Los índices de resultados académicos de los dos cursos de los que se dispone información, dado que el actual todavía no ha sido evaluado son los que se muestran en la Tabla 2. Los indicadores expuestos son: tasa de rendimiento, de eficiencia, presentados y de graduación. Se define tasa de rendimiento como el porcentaje de créditos aprobados frente a matriculados, tasa de eficiencia como la relación entre créditos aprobados frente a presentados, tasa de graduación, el porcentaje de estudiantes que superan en el tiempo previsto más un año, los créditos del título respecto del total de estudiantes de nuevo ingreso, y tasa de presentados, el porcentaje entre los créditos presentados y los matriculados.

Tabla 2. Índices de resultados académicos Master MATRE

Indicadores	2012-13	2013-14
Tasa de rendimiento	73,90	78,30
Tasa de eficiencia	90,00	96,21
Tasa de presentados	82,11	82,01
Tasa de graduación	50,00	50,00

Para la consecución del Master el estudiante ha de elaborar un Trabajo Final de Master (TFM) de 6 créditos) dirigido por un tutor profesor del Master que le asesora en la realización. Es quizás una de las tareas más dificultosas para el estudiante, ya que muchos de ellos no lo presentan en el curso en el que se matriculan y realizan en el Master sino en el posterior. Se configura como una asignatura más del plan de estudios y puede presentarse y defenderse cuando se han superado al menos el 50% de los créditos totales.

Un elemento diferenciador del Master reside en los mecanismos empleados para facilitar la inserción laboral de sus estudiantes, desde el enfoque del profesorado y dirección, así como desde el enfoque de la Universidad con las herramientas que proporciona para ello. El enfoque docente se configura con las visitas técnicas y a empresas, la impartición de seminarios por profesionales del sector, la realización del TFM con una visión que sobrepasa los aspectos teóricos y busca la aplicabilidad, y la configuración de una bolsa de trabajo que canaliza la oferta de demandas de empleo por parte de las entidades públicas y privadas dando difusión a todos los alumnos que han cursado el master. El enfoque institucional se posibilita a través del Observatorio Ocupacional que habilita la realización de prácticas externas en Empresas.

Las encuestas realizadas a los estudiantes han sido muy satisfactorias. La Universidad lleva a cabo con carácter formal la realización de encuestas sobre la calidad de los Masters, principalmente sobre la docencia (10 ítems de 15), las instalaciones (biblioteca, aulas, administración, etc.), o uso de la plataforma. Todos los ítems son valorados en una escala Likert de 1 a 5, siendo 1 el valor más bajo y 5 el más alto (muy satisfactorio). El resultado (tasa respuesta del 60%) muestra que todos los ítems superan el valor de 3,00. El específico sobre satisfacción global del Master es de 4,67 sobre 5,00, siendo la media de todos los Master de la UMH de 3,84. Otro dato de interés es que el 85% de los estudiantes recomendarían estudiar este Master en la UMH.

Conclusiones

La finalidad del Master en Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos de la Universidad Miguel Hernández es formar especialistas multidisciplinares en un área con futuro que se inserten en la vida profesional complementando su formación técnica de base con formación en un área específica altamente demandada como es la gestión y eficiencia del agua y la energía, y el respeto al medio ambiente y a los recursos naturales. La versatilidad del mismo es gracias al uso de la plataforma Moodle. Esta es una herramienta clave que permite la integración

de una formación, unos conocimientos técnicos con la enseñanza on line, semipresencial, y la interacción estudiante-profesorado. Así se facilita el intercambio de conocimientos, y la participación tanto de docentes como estudiantes de diversas procedencias, coincidiendo en una plataforma conjunta de intercambio de conocimientos.

El perfil del estudiante que accede al Master en Automatización y Telecontrol para la Gestión de Recursos Hídricos y Energéticos de la Universidad Miguel Hernández es un hombre con formación técnica, principalmente vinculada al sector agrario, que compagina sus estudios de Master con la actividad laboral y con una franja de edad de 31 a 40 años. Su procedencia geográfica es generalmente de la C.Valenciana y Región de Murcia aunque no haya cursado sus estudios previos de acceso en la propia Universidad en la que realiza el master.

Aunque la tasa de éxito es relevante, la mayor dificultad reside en la presentación y defensa de los TFM en el curso académico en el que inician sus estudios, quedando una parte importante de alumnos con esta asignatura pendiente y que realizan en un curso posterior. De hecho lo anterior puede ser una consecuencia de la compatibilización de los estudios con la actividad profesional, que dificulta la superación de todos los créditos en un curso académico.

Bibliografía

- Chen, PC., Lan, TS., Chiu, SC., Lan, YH. 2014. A Study of Investigating the Learning Effectiveness of Applying the Moodle E-Learning in Taiwan's Elementary School. *Journal of internet Techlonoly*, 15 (7), 1191-1194.
- Karagiannopoulou, E., Milienos, F.S., 2015. Testing two path models to explore relationships between students' experiences of the teaching-learning environment, approaches to learning and academic achievement. *Educational Psychology*, 35(1), 26-52.
- Karakaya, A.F., Demirkan, H., 2015. Collaborative digital environments to enhance the creativity of designers. *Computers in Human Behavior*, 42, 176-186.
- Lathrop, A., Foss, K., 2000. Student cheating and plagiarism in the Internet Era: A wake-up call. *Libraries Unlimited*. Main Moodle site. <<http://moodle.org>>.
- Liu, YP., Wang, JF., Xin, YJ., 2014. Research of Cultivating Scheme for Environmental Engineering Specialty in Agricultural College. In: 4TH International Conference on Applied Social Science (ICASS 2014), *Colección Advances in Education Research*, 52: 262-266.
- Martín-Blas, T., Serrano-Fernández, A., 2009. The role of new technologies in the learning process: Moodle as a teaching tool in Physics. *Computers & Education*, 52, 35-44.
- Navarro-González, J.L., López-Juárez, I., Ríos-Cabrera, R., Ordaz-Hernández, K., 2015. On-line knowledge acquisition and enhancement in robotic assembly tasks. *Robotics and Computer integrated manufacturing*, 33, 78-89.
- Padilla-Melendez, A., Del Aguila-Oltra, A.R., Garrido-Moreno, A., 2015. Using Moodle in teaching learning processes in Business management: the new profile of EHEA Student. *Educación XXI*, 18 (1): 125-145.
- Rocamora, M.C., Puerto, H.P., Melián, A., 2012. Uso de las herramientas de Google en la docencia de asignaturas en el área del ingeniería agroforestal. En: IX Jornadas sobre docencia e investigación en Ingeniería Agroforestal Nuevos retos en la docencia e investigación en Ingeniería Agroforestal: materias emergentes en ingeniería agroalimentaria y energía renovables. León. Spain. 12-15/09/2012.

- Romero, C., Ventura, S., García, E., 2008. Data mining in course management systems: Moodle case study and tutorial. *Computers & Education*, 51, 368-384.
- Ruiz-Canales, A., Molina-Martínez, J.M., Melián-Navarro, A., Cancela-Barrio, J., 2011. Official Master in Automation and Remote Control for Management in Water and Energy Resources: an interuniversity experience in e-learning. *EDULEARN11: International Conference on Education and New Learning Technologies*. Madrid. Spain. 14-16/11/2011.
- Singh, P., Martsin, M., Glasswell, K., 2015. Dilemmatic spaces: high-stakes testing and the possibilities of collaborative knowledge work to generate learning innovations. *Teachers and Teaching*, 21 (4), 379-399.

IA02 - Valoración del sistema de Evaluación de la Actividad Docente del Profesorado de la Universitat Politècnica de València.

Ortí García, E.¹; Val Manterola, L.².

¹ Unidad de Mecanización y Tecnología Agraria. Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, eorti@dmta.upv.es ² Unidad de Mecanización y Tecnología Agraria. Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, lval@dmta.upv.es

Resumen

La evaluación de la actividad docente resulta importante para las universidades para garantizar la calidad de sus estudios. Es importante asegurar no sólo la cualificación de la plantilla de profesores sino también, especialmente, la calidad de la docencia impartida. Con este objetivo la Universitat Politècnica de València (UPV) ha desarrollado un Manual para la Evaluación de la Actividad Docente del Profesorado. Este manual propone un modelo de evaluación que abarca tres dimensiones: Planificación de la docencia, Desarrollo de la enseñanza y Resultados. Cada dimensión incluye un conjunto de indicadores que reflejan los diferentes aspectos de la actividad docente asociados a ella. La Actividad Docente se valora mediante el Índice de Actividad Docente (IAD), que se obtiene mediante la valoración cuantitativa (puntos IAD) de los indicadores establecidos. Según el estudio realizado por los autores de este trabajo: (1) En la Planificación de la docencia, se valoran deficientemente la realización de cursos de formación del profesorado y la elaboración de materiales docentes, frente a otras actividades docentes muy bien valoradas como son la presentación de las Guías Docentes de las asignaturas. (2) En el Desarrollo de la enseñanza, se premia mucho más la cantidad de créditos impartidos que la calidad de la docencia, y no se valoran las particularidades específicas de cada asignatura a nivel de tutorías, exámenes, etc. (3) En lo referente a Resultados, el índice de aprobados de una asignatura influye considerablemente en el IAD de un profesor, mientras que el resultado de la encuesta sólo se tiene en cuenta en los casos en que éste sea mayor de cinco, siendo su efecto en el IAD relativamente importante.

Palabras clave: Calidad, resultados, enseñanza, criterios, índice

Analysis of the Model of Evaluation of the Teaching Activity of Academic Staff of the Universitat Politècnica de Valencia (UPV).

Abstract

The evaluation of teaching activity is important for Universities in order to guarantee a quality education. It is essential to ensure not only the qualifications of academic staff but also the quality of teaching. To this end, the Universitat Politècnica de Valencia (UPV) has developed a Guide for the Evaluation of the Academic Staff Teaching Activity. This guide establishes an evaluation model which is based on three dimensions: Planning, Development and Results. Each dimension considers a set of indicators which reflect the different aspects of teaching activity. Teaching activity is evaluated by means of the Teaching Activity Index (TAI) which is the result of a quantitative evaluation of the indicators (TAI points). According to the study carried out by the authors of the present work: (1) As far as teaching activity Planning is concerned, the training of academic staff as well as the development of teaching materials are poorly evaluated, whereas other teaching activities are highly evaluated, such as the development of Course Descriptions. (2) As regards teaching Development, the number of credits is far more rewarded than the teaching quality; furthermore, the special features of each course regarding tutorials, exams, etc., are not taken into account. (3) As regards Results, the pass rate of a course has a considerable influence on the TAI of the teacher, whereas the survey's result is considered only if it is higher than 5, while its influence on the TAI is rather important.

Keywords: quality, results, education, qualification, rate

Introducción y/o Justificación

Numerosos autores han intentado definir cuáles son las características fundamentales de la actividad docente y las implicaciones que ello tiene para la evaluación (Hernández y Sarramona (2002) indican que parece existir un acuerdo en considerar que es “una ocupación polivalente, que incluye valores, principios morales, además de habilidades didácticas y conceptuales”. Tejedor (2003) señala que la *“evaluación del profesorado es un proceso que debe orientarse fundamentalmente a la estimación del nivel de calidad de la enseñanza a fin de contribuir progresivamente a su mejora. (...) El proceso de evaluación debe concebirse igualmente como estrategia adecuada para fundamentar la investigación sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje en el ámbito universitario, en cuyos resultados deberían basarse las pautas sugeridas para la necesaria innovación metodológica”*.

La evaluación de la actividad docente tiene gran importancia para las universidades ya que es garantía de calidad de los estudios impartidos e índice de cualificación de la plantilla de profesores. En la Universitat Politècnica de València (UPV) hay una amplia experiencia en la evaluación del profesorado y en la evaluación de méritos docentes (quinquenios), así, desde finales de los años 80, se viene realizando una encuesta de opinión del alumnado para cada profesor de cada asignatura y la UPV participó en la convocatoria DOCENTIA (Programa de Apoyo a la Evaluación de la Actividad Docente) de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA, 2007).

En este caso, para la evaluación de la calidad docente se ha tenido en cuenta lo establecido en el documento “Criterios y directrices para la acreditación de enseñanzas universitarias conducentes a títulos oficiales españoles de grado y máster”, elaborado por ANECA (2006). Ahí se establece la necesidad de que el diseño y desarrollo de un título oficial se realice bajo un sistema de garantía de la calidad. En el criterio 6, Personal académico, se establece que la dotación de personal académico es suficiente, su grado de dedicación adecuado y su cualificación suficiente para la formación de estudiantes, de tal manera que quede garantizada, en cada caso, la calidad de la docencia, de la investigación y de la formación profesional del estudiante.

La UPV ha incluido dentro de su Plan Estratégico aprobado para el período 2007-2014 objetivos y planes vinculados a este aspecto, desarrollados durante estos años. La evaluación de la actividad docente se ha entendido como una evaluación interna de su profesorado que la universidad realiza para garantizar el cumplimiento de los objetivos de las enseñanzas que imparte. Para realizar dicha evaluación se ha elaborado el “Manual de evaluación de la actividad docente del profesorado (IAD) de la Universitat Politècnica de València”.

El proceso de evaluación tiene carácter anual y se inicia a propuesta de la Comisión de Evaluación de la Docencia (CED) de la UPV, con la remisión individual a cada profesor de su IAD correspondiente anual.

La evaluación de la actividad docente del profesorado, de carácter universal y obligatorio, produce efectos, en:

- Distribución y asignación de recursos propios de la UPV.
- Reconocimiento de quinquenios.
- Reconocimiento de otros complementos e incentivos económicos.

La obtención de posibles resultados desfavorables en la evaluación de la docencia puede llegar a suponer la inmediata separación de la labor docente del profesor.

Es fundamental disponer de un buen sistema de evaluación de la actividad docente del profesorado (IAD). El objetivo de este trabajo es testar el sistema actual de evaluación empleado por la UPV con el fin de plantear posibles mejoras en el mismo.

Material y Métodos

Para poder evaluar la actividad docente del profesorado de la UPV se emplea un parámetro que incorpora las diferentes dimensiones de la actividad docente citados, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. Este parámetro se denomina “Índice de Actividad Docente” (IAD) y se valora en puntos (puntos IAD), de forma que puedan obtenerse, fácilmente, valoraciones tanto personalizadas como institucionales.

El sistema de puntos IAD tiene dos particularidades reseñables:

- Se trata de un sistema de suma, que no limita a priori el número de puntos que se pueden conseguir.
- Las actividades ordinarias realizadas se reconocen mediante los correspondientes puntos IAD, pero las puntuaciones obtenidas pueden incrementarse, en función del nivel de los resultados conseguidos.

Al igual que ocurre en la Univesidad Politécnica de Cataluña (García-Berro, Roca y Navallas, 2008; García-Berro et al., 2009; García-Berro, et al., 2010; García-Berroet al., 2011) se valoran tres dimensiones generales de la docencia para el análisis y valoración de la actuación del profesorado:

1. Planificación de la Docencia (IAD_{PLAN}).
2. Desarrollo de la Enseñanza (IAD_{DESA}).
3. Resultados (K_{res}).

El valor final del índice de actividad docente (IAD) correspondiente al curso se obtendrá de la Ecuación (1):

$$IAD = (0,3 \cdot IAD_{PLAN} + 0,7 \cdot IAD_{DESA}) \cdot K_{res} \quad (1)$$

Para cada una de estas dimensiones, un conjunto de indicadores reflejan los diferentes aspectos de la actividad docente asociados a cada una de ellas:

- 1) La Planificación de la Docencia (IAD_{PLAN}) se obtendrá mediante la Ecuación (2):

$$IAD_{PLAN} = IAD_{FORMA} + IAD_{GUIA} + IAD_{INFORMA} + IAD_{MAT} \quad (2)$$

- Formación (IAD_{FORMA}): refleja la preparación del profesor para afrontar su actividad docente, bien mediante actividades de formación, tanto pedagógica y para la innovación educativa como la referente a las asignaturas que imparte, bien con la experiencia acreditada del profesor mediante las encuestas de opinión del alumnado.
- Guía docente (IAD_{GUIA}): engloba los aspectos relativos a la organización docente y la planificación de la enseñanza y del aprendizaje con relación a las asignaturas impartidas.

- Información de tutorías y grupos de docencia ($IAD_{INFORMA}$): es básica para la atención al alumno, que debe poder conocer antes del inicio del curso académico las modalidades y los horarios de tutorías de sus profesores.
- Materiales docentes (IAD_{MAT}): reflejan la actividad del profesor relativa a la elaboración de materiales y recursos para la docencia.

2) El Desarrollo de la Enseñanza (IAD_{DESA}) se obtendrá de la Ecuación (3):

$$IAD_{DESA} = IAD_{DOC} + IAD_{TUT} + IAD_{EVA} + IAD_{OTRAS} \quad (3)$$

- Docencia impartida (IAD_{DOC}): recoge la actividad del profesor correspondiente a las acciones de enseñanza realizadas.
- Tutorías realizadas (IAD_{TUT}): refleja la actividad del profesor relativa a las atenciones tutoriales llevadas a cabo.
- Evaluación (IAD_{EVA}): Este indicador recoge la actividad del profesor relacionadas con las tareas o acciones de evaluación realizadas.
- Otras actividades docentes (IAD_{OTRAS}): Este indicador engloba todas aquellas otras actividades de carácter docente que desarrolla o puede desarrollar el profesor en el desempeño de sus funciones y que no necesariamente están relacionadas directamente con las asignaturas impartidas.

3) Resultados (K_{res}) se obtendrá de la Ecuación (4):

$$K_{res} = 0,6 \cdot K_1 + 0,3 \cdot K_2 + 0,05 \cdot K_3 + 0,05 \cdot K_4 \quad (4)$$

- K_1 : Indicador relacionado con la encuesta de opinión del alumnado sobre la actuación docente del profesor:
- K_2 : Indicador relacionado con la tasa de rendimiento académico de las asignaturas impartidas.
- K_3 : Indicador relacionado con el cumplimiento de tutorías por parte del profesor.
- K_4 : Indicador relacionado con el cumplimiento de los plazos de entrega de actas.

Cada uno de los indicadores asociados a cada una de las dimensiones se obtiene a partir de una nueva ecuación en la que el índice a estudiar depende a su vez de múltiples variables.

Resultados y Discusión

Tras simular diferentes casos y aplicar el sistema de estimación del IAD planteado por la UPV, se pueden sacar los siguientes resultados:

Resultados 1. Variación del IAD mínimo en función de la Capacidad Docente.

El número de puntos mínimos necesarios para que un profesor obtenga un Índice de Actividad Docente (IAD) Aceptable, Notable o Excelente depende de su capacidad docente (CapDoc: créditos por contrato menos las reducciones), tal y como se indica en la Figura 1.

Por ejemplo, el número de puntos IAD mínimos que debería obtener un profesor con un sexenio activo (con reducción de 8 créditos) para que su IAD sea considerado “aceptable”, es de 26,28 puntos, mientras que un profesor con una capacidad docente de 32 créditos debería obtener 30,03 puntos, es decir, un 14% más de puntos. En

resumen, por cada crédito que aumenta la Capacidad Docente del profesor el nº de puntos mínimos que debe obtener en su IAD aumenta en un 2%.

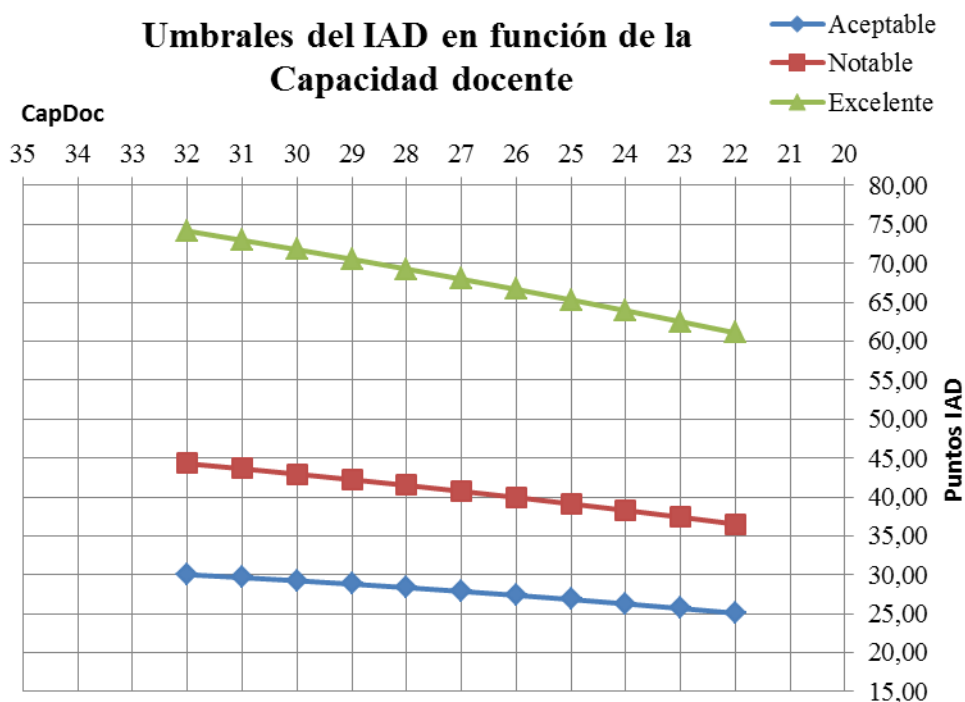


Fig 1. Valoración del IAD en función de la Capacidad Docente

Resultados 2. Estudio del IAD_{FORMA}

El número de puntos IAD_{FORMA} se obtienen con la Ecuación (5) y está limitado a 15 puntos.

$$IAD_{FORMA} = 15 \cdot \left[\frac{\sum_{i=cur_eva-4}^{cur_eva} HF_i}{600} + \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=cur_eva-4}^{cur_eva} a_i \right] \quad (5)$$

Siendo HFi el número de horas en cursos de formación en el curso i , cur_eva el curso objeto de evaluación, y a_i es un valor que depende del resultado de las encuestas de opinión del alumnado.

Como consecuencia de aplicar la ecuación anterior, el número de horas de formación recibidas por un profesor en los últimos 5 años no se valorará en su IAD si el resultado de su encuesta es igual o superior 7,5 puntos.

Resultados 3. Estudio del IAD_{GUIA}

El número de puntos IAD GUIA se obtiene con la Ecuación (6).

$$IAD_{GUIA} = 5 \cdot \sum_{asi=1}^{nasi} \frac{Crimp_{asi}}{CrTot_{asi}} \quad (6)$$

Siendo $Crimp_{asi}$ y $CrTot_{asi}$ los créditos impartidos y totales de la asignatura *asi*, y *nasi* el número de asignaturas en las que participa el profesor.

El IAD_{GUIA} supone unos 5 puntos por cada asignatura completa impartida, influyendo básicamente en su resultado el número de asignaturas impartidas independientemente del número de créditos que tengan (por ejemplo: 4,5; 6; 7,5 o 9 créditos). De tal forma que pueden darse los siguientes supuestos:

- Un profesor con capacidad docente de 32 créditos (IAD mínimo= 30,03 puntos) puede llegar a justificar, con tan sólo los puntos del IAD_{GUIA} , entre un 35 y un 52% de su IAD mínimo, en función de cual sea el *Kres* obtenido si imparte docencia en 7 asignaturas con 4,5 créditos por asignatura. .
- El mismo profesor si imparte docencia en dos asignaturas con 15,5 créditos por asignatura, sólo puede llegar a justificar con los puntos del IAD_{GUIA} entre un 10 y un 15% de su IAD mínimo, en función de cual sea el *Kres* obtenido

En consecuencia, se deduce que el IAD_{GUIA} varía mucho en función del número de asignaturas impartidas, sin tener en cuenta el número de créditos que se imparten en ellas.

Además, el IAD_{GUIA} puede llegar a justificar un porcentaje muy grande del IAD mínimo (el 52%), siendo la elaboración de las guías una tarea importante, pero resultando así demasiado valorada en comparación con otras tareas docentes.

Resultados 4. Estudio del IAD_{MAT}

El número de puntos IAD_{MAT} se obtiene de la Ecuación (7).

$$IAD_{MAT} = Puntos_publi + Puntos_PolT \quad (7)$$

Estando los *Puntos_publi* relacionados con las publicaciones realizadas (publicaciones docentes de 4 a 8 puntos dependiendo del tipo, objetos y módulos de aprendizaje de los últimos 3 cursos de 0,2 a 1,5 puntos dependiendo del tipo, artículos docentes de 1 a 5 puntos dependiendo del tipo), siendo su máximo 10 puntos, y los *Puntos_POIT* con los materiales docentes dispuestos en la plataforma educativa PoliformaT, siendo su valor máximo 5.

Según la Tabla 1, cada *Punto_publi* pueden llegar a justificar de un 1% a un 1,5% del IAD mínimo de un profesor con $CapDoc=32$, en función de cual sea el *Kres* obtenido.

Tabla 1: Influencia del *Kres* en los *Puntos_publi*

<i>Puntos_publi</i>	<i>Kres</i>					
	1		1,25		1,5	
	Puntos IAD	% IAD	Puntos IAD	% IAD	Puntos IAD	% IAD
1	0,30	1,0	0,38	1,2	0,45	1,5
2,5	0,75	2,5	0,94	3,1	1,13	3,7
5	1,50	5,0	1,88	6,2	2,25	7,5

7,5	2,25	7,5	2,81	9,4	3,38	11,2
10	3,00	10,0	3,75	12,5	4,50	15,0

Resultados 5. Estudio del IAD_{DOC}

El número de puntos IAD_{DOC} se obtiene con la Ecuación (8).

$$IAD_{DOC} = \frac{\sum_{asi=1}^{asi} Crimp_{asi} \cdot FA_{asi} \cdot FI_{asi}}{25} \quad (8)$$

Siendo FA_{asi} un factor relacionado con el año de impartición de la asignatura y FI_{asi} un factor relacionado con el idioma en que se imparte la asignatura.

EL IAD_{DOC} variará mucho en función del número de créditos impartidos, el idioma empleado y el año de impartición de la asignatura, de forma que 10 créditos impartidos por un profesor pueden llegar a justificar desde un 18,6% hasta un 55,9% del IAD mínimo de un profesor con $CapDoc=32$ dependiendo del idioma y año de impartición. En consecuencia, el IAD_{DOC} premia mucho la cantidad de créditos impartidos independientemente de cual sea la calidad de la docencia, la dificultad de la asignatura y de los resultados de la encuesta del profesor.

Resultados 6. Estudio del IAD_{TUT}

El número de puntos IAD_{TUT} se obtiene con la Ecuación (9).

$$IAD_{TUT} = \frac{1}{25} \cdot \left[216 \cdot \frac{tut_con}{6} \left(1 - \frac{Días_retraso}{252} \right) + P \right] \quad (9)$$

Siendo tut_con las horas de tutoría según contrato, $Días_retraso$ el número de días de retraso en la publicación del horario de tutorías, y P un índice relacionado con la participación del profesor en programas de tutorización, acogida y orientación universitaria.

El IAD_{TUT} no depende del número de alumnos a los que el profesor imparte clase, por tanto, no es un buen indicador del trabajo real que suponen las horas realizadas de tutorías con los alumnos.

Resultados 7. Estudio del IAD_{EVA}

El número de puntos IAD_{EVA} se obtiene con la ecuación (10).

$$IAD_{EVA} = 0,2 \cdot \sum_{asi=1}^{nasi} Crmat_{asi} \frac{Crimp_{asi}}{CrTot_{asi}} \quad (10)$$

El IAD_{EVA} variará mucho en función del número de créditos matriculados en cada asignatura $Crmat_{asi}$, no influyendo el número de actos o pruebas de evaluación realizados por el profesor. Además, el IAD_{EVA} tiene un peso pequeño en el IAD en comparación con otras actividades docentes menos laboriosas como el IAD_{GUIA} .

Resultados 8. Estudio del IAD_{OTRAS}

El número de puntos IAD_{OTRAS} se obtiene con la ecuación (11).

$$IAD_{OTRAS} = \frac{Horas_otras}{25} \quad (11)$$

Estando las *Horas_otras* vinculadas con actividades relacionadas con la dirección de Proyectos o Trabajos Fin de Carrera, Tesinas, DEA, Tesis, participación en tribunales, asistencia a congresos docentes, etc.

El IAD_{OTRAS} tiene poco peso en el IAD considerando el número de horas que le suponen a un profesor determinadas actividades incluidas en este punto. Un ejemplo de ello es la valoración de la dirección de proyecto o TFC, que supone tan sólo entre un 3,7% y un 5,6% de su IAD mínimo, en función de cual sea el Kres obtenido.

Resultados 9. Estudio del K_1

El K_1 se obtiene con la ecuación (12), y su valor mínimo es 1.

$$K_1 = 1 + \frac{Resenc - 5}{10} \quad (12)$$

Siendo *Resenc* el resultado global de la encuesta de evaluación de la docencia del profesor.

En función de los resultados de la encuesta el K_1 y el Kres toman los siguientes valores indicados en la Tabla 2.

Tabla 2: Valor de K_1 en función de Kres

Resultado de la encuesta	K_1 (valor mínimo 1)	Kres	Diferencia con Kres máximo
5	1	0,60	0%
6	1,1	0,66	6%
7	1,2	0,72	12%
7,5	1,25	0,75	15%
8	1,3	0,78	18%
9	1,4	0,84	24%
10	1,5	0,90	30%

En consecuencia, el resultado de la encuesta sólo se tiene en cuenta en los casos en que éste sea mayor de cinco, y su efecto en el IAD es como mucho de un 30% si la nota media obtenida en las encuestas es un 10.

De nuevo, tal y como se argumentó al hablar del IAD_{DOC} , el sistema actual de estimación del IAD premia mucho el número de créditos impartidos, independientemente de la

calidad de la docencia impartida, de la dificultad de la asignatura y de los resultados negativos de la encuesta del profesor.

Resultados 9. Estudio del K_2

El K_2 se obtiene con la ecuación (13).

$$K_2 = \frac{\sum_{asi=1}^{nasi} K_{2,asi} \cdot Crmat_{asi}}{\sum_{asi=1}^{nasi} Crmat_{asi}} \quad (13)$$

Siendo $K_{2,asi}$ un indicador cuyo valor dependerá de la tasa de rendimiento obtenido en cada asignatura asi .

El porcentaje de alumnos aprobados respecto a matriculados (ni siquiera respecto a presentados) influye considerablemente en el K_2 , y en consecuencia, en los puntos obtenidos en el IAD de un profesor, llegando a suponer, según la Tabla 3, un decremento del 15% de su IAD si el porcentaje de aprobados difiere en el año de estudio en un 30% de la tasa de rendimiento medio del centro.

Este sistema de valoración incita al profesor a aumentar el porcentaje de aprobados de los alumnos por encima de otros muchos factores como la calidad de la docencia y la certificación de que el alumno haya adquirido unos conocimientos mínimos requeridos para el desempeño de su profesión. En cualquier caso, si se decide tener en cuenta debería considerarse la media de la tasa de rendimiento académico de la asignatura y del centro (este último obtenido a partir de asignaturas semejantes en dificultad) durante los últimos años, no la de ese curso en concreto.

Tabla 3. Valor de K_2 en función de K_{res}

Tasa rendimiento de la asignatura	Tasa R. Medio en el Centro	K_2	K_{res}	Diferencia con el K_{res} máximo
90	90	1,50	0,45	0%
80	90	1,50	0,45	0%
76	90	1,27	0,38	-7%
73	90	1,22	0,37	-8%
70	90	1,17	0,35	-10%
66	90	1,10	0,33	-12%
63	90	1,05	0,32	-14%
60	90	1,00	0,30	-15%
50	90	1,00	0,30	-15%

Conclusiones

Las conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo, referentes al sistema de evaluación de la actividad docente del profesorado (IAD) de la Universitat Politècnica de València son:

- En la Planificación de la docencia, se valoran deficientemente la realización de cursos de formación del profesorado y la elaboración de materiales docentes, frente a otras actividades docentes muy bien valoradas como son la presentación de las Guías Docentes de las asignaturas.
- En el Desarrollo de la enseñanza, se premia mucho más la cantidad de créditos impartidos que la calidad de la docencia, y no se valoran las particularidades específicas de cada asignatura a nivel de tutorías, exámenes, etc.
- En lo referente a Resultados, el índice de aprobados de una asignatura influye considerablemente en el IAD de un profesor, mientras que el resultado de la encuesta sólo se tiene en cuenta en los casos en que éste sea mayor de cinco, siendo su efecto en el IAD relativamente importante.

Bibliografía

- ANECA., 2006. Criterios y directrices para la acreditación de enseñanzas universitarias conducentes a títulos oficiales españoles de grado y máster. Madrid. ANECA.
- ANECA., 2007. Docentia. Programa de apoyo para la evaluación de la actividad docente del profesorado universitario. Madrid. ANECA.
- García-Berro, E., Roca S. y Navallas, F. J., 2008. Retos de la integración de la Universidad Española en el Espacio Europeo de Conocimiento: algunas reflexiones y propuestas. En J. Gairin y S. Antunez (Eds.), Organizaciones Educativas al servicio de la sociedad (pp. 587-598). Madrid: Wolters Kluwer Educación.
- García-Berro, E., Dapia, F., Amblàs, G., Bugeda, G., y Roca, S., 2009. Estrategias e indicadores para la evaluación de la docencia en el marco del EEES. Revista de Investigación en Educación, 6, 142-152.
- García-Berro, E., Roca, S., Amblas, G., Murcia, F., Sallares, J., y Bugeda, G., 2010. La evaluación de la actividad docente del profesorado en el marco del EEES. Aula Abierta, 38, 29-40.
- García-Berro, E., Roca, Colom, X. Martínez, E., Sallares, J. y Roca, S., 2011. La encuesta al alumnado en la evaluación de la actividad docente del profesorado. Aula Abierta, 39, 3-14.
- Hernández, M. y Sarramona, J., 2002. La autoevaluación docente. Una propuesta para la formación profesional. Bordón, 54, 4, 559-575.
- Tejedor, F.J. 2003: "Un modelo de evaluación del profesorado universitario". Revista de Investigación Educativa 21, 1, 157-182.
- UPV. 2006. Plan estratégico 2007-2014.
- UPV. 2014. Manual de evaluación de la actividad docente del profesorado (IAD) de la Universitat Politècnica de València. Curso 2014-15.

IA03 - Adecuación de asignaturas para ser impartidas en modalidades semi-presenciales y no presenciales.

Muñoz-García, M.A.¹; Benito-Hernández, S.²; Gilarranz-Casado, C.A.¹; Moreda, G.¹; Gutiérrez-Griguelmo, T.¹; Buti Sarabia, M.^{1,2}

¹ Dep. Ing. Agroforestal. ² Dep. Econ. Agraria, Estadística y Gestión de Empresas. E.U.I.T. Agrícola, UPM, Avda. Complutense, s/n; 28040 Madrid, España. miguelangel.munoz@upm.es

Resumen

En el actual marco de la educación en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), dónde la integración en el sistema de Bolonia ha sido plena, el uso de la innovación para adaptar asignaturas para ser impartidas en modalidad semi-presencial es de gran ayuda. Este trabajo presenta el proceso que se ha seguido en asignaturas de cuatro áreas diferentes (Economía, Hidráulica, Mecanización y Electrotecnia) en las que se enmarcan distintas asignaturas del Grado en Ingeniería Agrícola, para ser adaptadas a una impartición en modalidad semi-presencial o incluso no presencial. Las técnicas empleadas van desde la utilización de videos complementarios o sustitutivos de las clases magistrales, hasta las actividades on-line sobre la plataforma Moodle. El objetivo final es facilitar a los alumnos de cursos como el de Adaptación al Grado, el seguimiento de la asignatura, puesto que es bastante habitual que las clases les coincidan con su actividad laboral. Se pone de manifiesto la variedad de posibilidades a la hora de ofertar una asignatura en modalidad semi-presencial, así como las diferencias que puedan surgir de las distintas asignaturas dependiendo del área y del grado de experimentalidad de la misma.

Palabras clave: Video difusión, MOOCs, Ejercicios colaborativos

Adaptation of subjects to be taught in semi-face and non-face modes.

Abstract

In the current context of education in the European Higher Education Area (EHEA), where integration in the Bologna system has been completed, the use of innovation to adapt courses to be taught in mixed mode is helpful. This paper presents the process that was followed in subjects from four different areas (Economics, Hydraulics, Mechanization and Electrical Engineering) in which various subjects are framed, for the Degree in Agricultural Engineering, to be adapted to teaching in mixed mode or even distance. The techniques range from the use of complementary or substitute videos of lectures, to the on-line activities on the Moodle platform. The ultimate goal is to provide students of courses such as adaptation to Grado, monitoring the subject, since it is quite common for classes match them with their work. It shows the variety of possibilities when offering a course in mixed mode, as well as differences arising from the different subjects depending on the area and the degree of experimentalism of it.

Keywords: Video broadcast, MOOCs, Collaborative exercises.

Introducción

Desde el año 1999 España forma parte del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) con el principal objetivo de conseguir un sistema comparable de estudios en los países que formen parte del EEES. A partir del curso 2010/2011 se hace obligatorio impartir Grados en todas las titulaciones universitarias de todas las Universidades españolas. Según el Ministerio de Educación todo esto supuso un cambio en la manera de enseñar en las universidades, proporcionando más protagonismo al alumno en lugar de al profesorado dando importancia al desarrollo de habilidades y capacidades generales y específicas que permitan un mayor y mejor acceso al mercado laboral, promoviendo una forma de estudio más autónoma, cooperativa y práctica.

En los últimos años se está creando una revolución en el mundo universitario por la potencial intrusión de los MOOCs (Massive On-line Open Courses), se trata de cursos con miles de personas en ellos de forma simultánea, interactuando entre ellos de manera on-line y en todo el mundo mediante los foros o chats. La principal diferencia con respecto a la educación a distancia clásica es el método de evaluación, el cual no solo se comprende de un examen o prueba final, sino que se realiza una evaluación con pequeños cuestionarios a lo largo de la duración del curso.

En un ámbito más concreto de las asignaturas universitarias, los estudiantes valoran de manera muy positiva el apoyo de las herramientas tecnológicas de información y comunicación (TIC) en la enseñanza presencial (Jimenez et al 2008), por lo que es un hecho a tener en cuenta a la hora de la transformación a semi presencial.

Es necesario que el producto final sea un híbrido entre los MOOCs puros con otras opciones metodológicas con una cierta individualización que se base en el perfil de aprendizaje del público en concreto (Zapata-Ros 2013), que en este caso serían los estudiantes universitarios matriculados en una asignatura.

Al trabajar con asignaturas de distinta temática y peculiaridades es necesario utilizar herramientas y enfoques distintos (Jimenez et al 2008). Así se desarrollarán unos u otros recursos según ayuden a una mejor comprensión de la materia y desarrollo de las habilidades y competencias asignadas a esa materia. Según la prueba realizada por M. Area et al (2008), la mayoría de los alumnos no ha tenido nunca asignaturas semi-presenciales o no presenciales, a pesar de eso tienen una alta predisposición y una actitud positiva frente a ello debido al aumento de flexibilidad y libertad en el proceso de aprendizaje.

Material y Métodos

Se han utilizado una serie de metodologías distintas según el profesor y la asignatura a trabajar. La siguiente tabla resume las tipologías empleadas por materia:

Tabla 1.- Recursos utilizados en las diferentes asignaturas implicadas en el proyecto de innovación

Asignatura	Método
La Empresa y su Entorno	Cuestionarios de autoevaluación Soporte visual
Sistemas y tecnología del Riego	Soporte visual
Mecanización Agraria	Soporte visual Recursos digitalizados /Prácticas de problemas y soluciones digitalizados
Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión	Soporte visual

El proyecto de innovación ha contado con la colaboración de una becaria que ha realizado tareas de asistencia a los distintos profesores coordinadores de las asignaturas implicadas. Dicha colaboración ha sido secuencial, solapada únicamente con tareas de coordinación. La secuencia utilizada para la adaptación con nuevos materiales a las distintas asignaturas ha sido la que aparece en la siguiente tabla.

Tabla 2.- Secuencia de tareas del proyecto de innovación.

Secuencia	Tiempo	Asignatura/Tarea
1	Sept 2014	<u>Arranque del proyecto. Coordinación</u>
2	Oct/Nov 2014	La Empresa y su Entorno,
3	Nov/Dic 2014	Sistemas y tecnología del Riego,
4	Dic/Ene 2014	<u>Coordinación tareas realizadas</u>
5	Feb/Mar 2015	Mecanización Agraria
6	Mar/Abril 2015	Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión
7	Abril 2015	<u>Redacción de informes y análisis de resultados</u>
8	Mayo/Junio 2015	<u>Cierre del proyecto</u>

Soporte visual

Uno de los métodos utilizados en la asignatura de Sistemas y Tecnología del Riego es el soporte con videos de las clases completas.

Los videos se han registrado durante las horas de clase del curso. Posteriormente se han editado para eliminar aquellas partes que pueden resultar más innecesarias para los alumnos que no se encuentran presentes en la misma (otros alumnos hablando, partes repetitivas, momentos de desenfoque o momentos donde el audio es malo). Todo esto ha ayudado a que finalmente queden videos de una duración aproximada de 30 minutos.

La grabación se ha realizado en condiciones normales de clase, con una cámara común sin micrófono externo.

Otro tipo de soporte visual que se ha empleado en la transformación de las asignaturas presenciales han sido las fotografías. En Mecanización Agraria, se ha capturado los distintos momentos de una práctica de campo que comúnmente se realiza con los alumnos en las clases presenciales. Esto acompañado de la explicación ayuda a aclarar mejor algunos aspectos de la práctica que solo con la explicación podrían quedar inciertos. Además al tratarse de mecanización agraria, siempre es más aclarador ver los aperos que se usan por si algún alumno no tuviese información previa.

También en la asignatura La Empresa y su Entorno ha incluido videos exportados de la web mediante un programa denominado *video to video converter*. Gracias a este

programa estos vídeos no dependen de las páginas web evitando su desaparición y convirtiéndose en un recurso más de la asignatura

Cuestionarios de autoevaluación

Para la asignatura de La Empresa y su Entorno, se ha decidido que la mejor opción para la transformación de esta es asegurarse de que los alumnos han asimilado el mensaje principal de los temarios. De tal forma que se han realizado unos breves cuestionarios de cada unidad temática, de no más de 20 cuestiones.

Las preguntas tienen tres opciones entre las que solo hay una que es correcta.

Con estos cuestionarios se consigue que el alumno preste más atención a los conceptos clave, que se lea correctamente la información proporcionada y ayudar a su retención.

Los cuestionarios se han realizado en la plataforma Moodle, con sus herramientas predeterminadas para su creación, se han creado en el curso de la asignatura que los alumnos tienen disponible en dicha plataforma.

Recursos digitalizados

En la asignatura de Mecanización Agraria se han escaneado algunos artículos de revistas del sector donde se especifica más y se explica de otra manera uno de los temas de los que ya se dispone cierta información. De esta manera si no ha quedado claro de un principio hay más posibilidades de que se entienda mejor.

La información básica de la que disponen los alumnos de las clases no presenciales suele ir acompañada de una explicación detallada del profesor en las clases presenciales, por lo que artículos que contengan información adicional puede facilitar la comprensión de cada aspecto.

Recursos para la práctica: problemas y resoluciones de estos

Problemas de Mecanización Agraria para que los alumnos pongan en práctica lo que han aprendido en los aspectos teóricos y al disponer de la resolución también sirven de autoaprendizaje y de autocorrección de errores.

Los problemas se han extraído de los libros de bibliografía y se han pasado a formato digital para su acceso mediante la plataforma Moodle.

Resultados y Discusión

Cada asignatura requiere un tipo de metodología distinto según su enfoque, algunas tienen más contenido teórico, como La Empresa y su Entorno, y otras totalmente práctico, como Sistemas y Tecnología del Riego.

La aplicación de nuevas metodologías, enfocadas a un trabajo autónomo de los alumnos, tiene el objetivo de mejorar la calidad del aprendizaje semi presencial o presencial. El objetivo inicial del proyecto expuesto es implantar el sistema en el “Curso de Adaptación al Grado en Ingeniería Agrícola”, para que aquellos alumnos que lo deseen puedan realizarlo sin necesidad de asistir a clases presenciales. El objetivo final es poder implantar esta modalidad semipresencial en el grado ordinario en un futuro.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en las distintas asignaturas:

Sistemas y Tecnología del Riego

En esta asignatura se han realizado videos de las clases completas, con un montaje posterior, para que los alumnos “asistan” a las clases desde la ubicación que deseen. En esta asignatura se ha realizado una prueba piloto, donde los alumnos del curso presencial, han podido acceder libremente a cualquiera de los videos ya grabados de las clases a las que han asistido y ha tenido bastante éxito, ya que los alumnos valoran positivamente poder volver a escuchar alguna parte de la clase que no les ha quedado clara. Ayuda a resolver las dudas que puedan tener los alumnos, aunque este tipo de alumnos que ya han asistido a la clase presencial, no visualizan el video entero, sino que van a la parte que les interesa.

La Empresa y su Entorno

Esta es la asignatura más teórica de todas, por lo que se ha optado por resumirla en varios cuestionarios on-line de opción múltiple (uno por cada unidad temática). Esto juntamente con los documentos con las explicaciones teóricas logra que el alumno centre más su atención en lo que está leyendo para luego poder contestar bien el cuestionario. Además las preguntas centran la atención del alumno en un punto importante del temario. El método también es aplicable a clases presenciales, para evaluar si el alumno ha entendido y captado el mensaje. También se ha incluido en la asignatura una serie de videos con origen en la web y transformados mediante el programa *video to video converter*.

Mecanización Agraria

La asignatura tiene una combinación de teoría y práctica. Para la parte teórica, además de la bibliografía recomendada, se ha optado por añadir información complementaria de artículos de revista, que ayudan al alumno a entender un concepto desde varios puntos de vista. Para la parte más práctica, se han realizado fotografías y videos de las prácticas de campo, que juntamente con el guión seguido permiten comprender y visualizar lo que se ha realizado aunque no estén presentes en el campo. Otro tipo de práctica que engloba esta asignatura son problemas de cálculo, esto sería complicado de entender a distancia, por lo que al alumno le puede ayudar tener el problema resuelto con las explicaciones correspondientes.

Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión

En este caso, la asignatura tiene una fuerte componente práctica y de trabajo con simuladores de ordenador. Los vídeos realizados se centran en dar una visión rápida del manejo de dichas herramientas informáticas así como la aclaración de conceptos básicos previos, que deben ser conocidos por el alumno y que, con frecuencia, han sido olvidados y conviene refrescar. En ese sentido se considera novedoso la realización de videos cortos en los que se deja al alumno que piense en una solución alternativa o se realizan preguntas que quedan en el aire para que el propio alumno pueda buscar por sí mismo las respuestas.

Conclusiones

El proyecto presenta la adaptación de distintas materias a formato semipresencial o a distancia, empleando herramientas adecuadas para cada una de las asignaturas según sus necesidades. La efectividad de los métodos debe ser analizada a largo plazo, cuando se haya puesto en práctica en su totalidad. La implantación de estos recursos ha durado 9 Meses y se puede resumir una acogida positiva por los alumnos, que aprecian los esfuerzos por la adecuación de las asignaturas a las nuevas tecnologías y la posibilidad de su seguimiento por ordenador.

Una de las primeras conclusiones que se pueden extraer es que las asignaturas con más contenido teórico tienden a tener más facilidad de transformación a una modalidad online, ya que requiere menos esfuerzo en que el alumno entienda los contenidos prácticos y se requieren menos recursos complejos. Los videos son uno de los recursos más utilizados por los distintos responsables de las asignaturas que forman parte de esta experiencia docente, ya que son bastante sencillos en su utilización y muy aclaratorios de los contenidos que se exponen en ellos. Igualmente, para aquellos alumnos que quieren “asistir” a la clase desde cualquier ubicación son especialmente útiles. Pero no es la única conclusión extraíble, ya que la implantación on line en las distintas asignaturas de contenidos prácticos resueltos, bien mediante cuestionarios on line o mediante recursos digitalizados es también uno de los recursos clave en este tipo de enseñanza semipresencial. Por último resaltar, que siempre en cualquier asignatura semipresencial o a distancia es necesario que se incluyan los contenidos de la asignatura de forma digital de una u otra forma, bien mediante archivos digitales, videos u otros recursos.

Igualmente, se hace necesario una plataforma virtual. En nuestro caso, Moodle ha servido de plataforma para poder trabajar los contenidos y recursos a utilizar en las distintas materias. Su sencillez y conocimiento por parte de todos los participantes en el proyecto: profesores, alumnos y staff ha sido determinante. Si bien otro tipo de plataformas pueden ser igualmente útiles, véase el caso de Chil.org².

Aunque se requiere un gran trabajo inicial por parte del profesor, los contenidos on line son totalmente reutilizables, actualizándolos siempre en la medida que se hace necesario.

Por último cabe destacar dos de los aspectos a mejorar. Uno de ellos es la complicada realización de trabajos grupales, por lo que se tendrían que buscar otras técnicas para trabajar la cooperación entre los alumnos. Este último aspecto se propone como nuevo área a trabajar en un nuevo proyecto de innovación educativa. Y el segundo aspecto es cómo fortalecer y ayudar a desarrollar las distintas competencias específicas y generales mediante enseñanzas a distancia, por ejemplo, liderazgo, capacidad de negociación, expresión oral...etc. Se propone también como futura línea de trabajo en un nuevo proyecto de innovación educativa.

2 Plataforma desarrollada en la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Universidad Politécnica de Madrid, a través de su Servicio de Innovación educativa, del Vicerrectorado de Planificación Académica y Doctorado. Su código de proyecto es IE1415-52006.

Bibliografía

- Area, M., Sanabria, A., González, M. (2008). Análisis de una Experiencia de Docencia Universitaria Semipresencial desde la Perspectiva del Alumnado. Universidad de la Laguna.
- Jiménez, F., Fernández, C., Pérez, F., J.Leo, T., Navarro, E., Arraiza, P., Barrera, P., Lozano, C. (2008) Rediseño de asignaturas para su impartición en formato semipresencial o a distancia. ETSI Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Madoz, C., Gorga, G., Feierherd, G., Depetris, B. (2003). Transformación de un curso presencial preuniversitario de Análisis y Expresión de Problemas a modalidad Semipresencial. Unicersidad Nacional de la Plata.
- Ministerio de Educación (2010). Bolonia en secundaria: La nueva educación. Gobierno de España.
- Zapata-Ros, M. (2013) MOOCs, una visión crítica y una alternativa complementaria: La individualización del aprendizaje y de la ayuda pedagógica [Preprint]

IA04 - ¿Dónde trabajan en el 2015 los egresados de las titulaciones de ingeniería de la rama agraria?

González Castillo, J.A.¹, Benedicto Schonemann, S.²; Porras Prieto, C.J.², García Fernández, J.L.², Ruiz Mazarrón, F.²

¹ Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Agrónomos, Servicios Informáticos, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, joseantonio.gonzalez@upm.es. ² Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Agrónomos, Dpto. Ingeniería Agroforestal, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid: susanaschonemann@hotmail.com; carlosjavier.porras@upm.es; joseluis.garciaf@upm.es; f.ruiz@upm.es

Resumen

Un aspecto que está cobrando cada vez más importancia en la evaluación y diseño de planes de estudio es la empleabilidad de los titulados; sin embargo no hay demasiados estudios sobre el tema, o son tan generales que resultan difíciles de utilizar a la hora de hacer el análisis de una titulación concreta, o de diseñar una nueva titulación. Con la intención de aportar información adicional en el ámbito de las ingenierías agrarias, se ha diseñado una encuesta con el objetivo de identificar los sectores en los que trabajan los egresados de las titulaciones "Ingeniero agrónomo", "Ingeniero técnico agrícola" y otras titulaciones relacionadas. Se ha realizado una encuesta inicial a los egresados del Máster Universitario en Agroingeniería de la Universidad Politécnica de Madrid; se va a encuestar a los egresados de otras titulaciones con la misma metodología. La encuesta incluye cuestiones relativas al plan de estudios y especialidad, nivel de ingresos, competencias técnicas y generales que utilizan en el puesto de trabajo, habilidades que adquirieron en su titulación que realmente utilizan en su empleo, carencias de formación en su titulación que luego han encontrado necesarias, programas informáticos, tendencias del mercado laboral, y formación continua complementaria demandada.

Palabras clave: Empleabilidad, competencias, planes de estudio, demanda laboral, formación continua.

Where do they work in the 2015 the graduates of agricultural engineering degrees?

Abstract

One aspect that is becoming increasingly important in the evaluation and design of university curricula is the employability of graduates. However, there are not many studies on the subject, or they are so general that are difficult to use when making the analysis of a specific degree, or designing a new degree. With the intention to provide additional information in the field of agricultural engineering, a survey has been designed to identify sectors in which graduates of the degrees "agronomist", "agricultural engineer" or any related degree are working. The initial survey has been made to graduates of the Master in Agro-engineering of the Technical University of Madrid; graduates of other degrees will be surveyed this year with the same methodology. The survey includes questions about curriculum and specialty, income level, technical and general skills used in the workplace, skills acquired in their degree they actually are used in their jobs, lack of training in their studies that have subsequently found necessary, software, labor market trends, and additional continuous training demanded.

Keywords: Employability, competences, core curriculum, employment demand, continuing professional development.

Introducción

El objetivo de la encuesta ha sido conocer la situación laboral de los titulados en el Máster Universitario en Agroingeniería y las habilidades fundamentales que utilizan en su trabajo, con el objetivo de mejorar el máster actual.

El Máster Universitario en Agroingeniería consta de 60 créditos; está diseñado para formar especialistas en cinco especialidades: "Automatización, robótica y control de calidad", "Construcción rural", "Riegos y energía", "Proyectos, territorio y medio ambiente" y "Mecanización agraria". El titulado del Máster estará capacitado para el diseño, proyecto, investigación, desarrollo, innovación, docencia y divulgación, en los sectores agrícola, ganadero, agroalimentario y del medio rural, en el ámbito de la especialidad elegida por el alumno.

Material y Métodos

En marzo de 2015, se ha realizado una encuesta a 21 egresados del Máster Universitario de Agroingeniería de la ETSI Agrónomos de Madrid; entre los 21 encuestados hay alumnos de las cinco promociones, desde la promoción 2010 a la 2014. El total de egresados de esta titulación es de 71, por lo que se ha encuestado a una muestra del 30% de los titulados. Los encuestados tenían edades comprendidas entre 24 y 55 años, siendo tan sólo un 24% mujeres. De las distintas especialidades que tiene el Máster, el 33% de los encuestados eran de la especialidad de "Construcción rural", el 29% de "Riegos y Energías", el 24% de "Automatización" y el 14% de "Proyectos".

La encuesta se adjunta en el anejo 1. El procedimiento seguido consistió en enviar un correo electrónico a todos los egresados del máster de los que se disponía del email, invitándoles a realizar la encuesta en una dirección de internet, que se reseñaba en el correo. Previamente se había preparado la encuesta en una herramienta de Gmail (Google Drive) asociando la encuesta a la mencionada dirección de internet. Cuando los egresados completaban la encuesta, la información se volcaba en una hoja Excel asociada a la cuenta de Gmail.

La encuesta constaba de varios tipos de preguntas: un conjunto inicial de preguntas sobre la especialidad cursada y el año de graduación; un segundo conjunto de preguntas sobre el sector de su empleo actual; y un tercer bloque de preguntas sobre las temáticas o asignaturas del máster, programas de ordenador y competencias o habilidades generales que los egresados utilizaban en su trabajo.

Resultados y Discusión

Respecto a la inserción laboral de los egresados del Máster Universitario en Agroingeniería, 15 tenían un trabajo o beca remunerada (71%) y 6 no tenían (29%), respecto al total de 21 encuestados.

En el análisis realizado a partir de aquí, el total de encuestas es de 15, que corresponden a los 15 encuestados con empleo. Respecto a los sectores en los que trabajaban, la encuesta muestra una gran dispersión. El epígrafe más marcado fue el de "Ingeniería" (marcado por 5 encuestados), seguido por el de "Tecnologías agroforestales: agricultura y ganadería" (3 encuestados). Era posible marcar varios epígrafes. Porcentualmente, los sectores en los que trabajaban los encuestados eran los siguientes:

- Ingeniería, 21%
- Tecnologías agroforestales: agricultura y ganadería, 13%
- Industrias agrarias, 11%
- Investigación, 11%
- Construcción, 7%
- Educación, 7%
- Consultoría, 7%
- Planificación rural, 6%
- Tecnologías de la información y comunicaciones, 6%
- Biotecnología, 4%
- Tecnologías ambientales, 2%
- Tecnologías industriales no agrarias, 2%
- Administración pública, 2%

La conclusión es que los titulados pueden trabajar en un amplio abanico de sectores, como parece ocurrir habitualmente en las titulaciones del ámbito agroalimentario.

Respecto a los paquetes informáticos que utilizan nuestros titulados, 14 de los 15 encuestados con empleo utilizaban programas de ordenador (uno de los encuestados no lo indica). Los programas utilizados eran:

- Microsoft Excel, 13 encuestados (87%)
- Diseño asistido por ordenador (Autocad, Catia), 8 encuestados (53%)
- Gestión de proyectos (Project), 5 encuestados (33%)
- Estadística, 3 encuestados (20%)
- Gestión empresarial, 3 encuestados (20%)
- SIG, 2 encuestados (13%)
- Construcción (CYPE), 2 encuestados (13%)
- Contabilidad, 2 encuestados (13%)
- Matemáticas, 1 encuestado (7%)

Los titulados declaran emplear como media tres aplicaciones informáticas, siendo una de ellas Microsoft Excel. En base a este resultado, podría recomendarse reforzar la formación en el máster en algunas de estas aplicaciones, por ejemplo con Autocad o Microsoft Project. En la asignatura de "Modelización y dinámica de sistemas" se realizan ejemplos y aplicaciones con Microsoft Excel; en otras asignaturas se utilizan aplicaciones con programas de SIG o estadística. Como "Otras aplicaciones informáticas utilizadas en el trabajo", dos encuestados mencionan aplicaciones en edición de videos.

Los egresados también mencionan determinadas competencias, utilizadas en su trabajo, que piensan que deberían incorporarse o reforzarse en la formación en el máster. Se trata de una serie de temáticas o habilidades relativamente heterogéneas:

- Área financiera (presupuestos, beneficios, reservas)
- Manejo de software para la elaboración de presupuestos
- Sistemas de información geográfica
- Herramientas de computación en la nube
- Métodos de elementos finitos y elementos discretos
- Preparación de cara al mundo laboral

Cada una de estas competencias se ha mencionado una vez en las encuestas. Las dos primeras están relacionadas con temas de presupuestos, aspecto que podría reforzarse en la formación del máster.

Respecto a las temáticas o asignaturas del máster que los encuestados declaran que les han sido útiles en su trabajo, 14 encuestados han respondido en este apartado. Los resultados han reflejado como útiles las siguientes asignaturas.

Respecto a las asignaturas metodológicas -14 encuestados-:

- Metodología de investigación (se menciona 3 veces)
- Modelización y dinámica de sistemas (3 veces)
- Técnicas de comunicación (1 vez)

Asignaturas de la especialidad de "Construcción rural" -6 encuestados-:

- Estructuras avanzadas (2 veces)
- Infraestructuras rurales (1 vez)
- Construcción de invernaderos (1 vez)
- Estructuras de madera (1 vez)

Asignaturas de la especialidad de "Riegos y energía" -3 encuestados-:

- Instalaciones eléctricas (2 veces)
- Sistemas de riego (1 vez)
- Suministro de energía (1 vez)

Asignaturas de la especialidad de "Automatización" - 4 encuestados-:

- Automatización y control (4 veces)
- Robótica (1 vez)
- Agricultura de precisión (1 vez)
- Electrónica aplicada (1 vez)

Asignaturas de la especialidad de "Proyectos" -1 encuestado-:

- Proyectos (1 vez)
- Evaluación de impactos ambientales (1 vez)
- Ordenación territorial (1 vez)
- Gestión ambiental (1 vez)
- Recuperación de espacios degradados (1 vez)

Estas respuestas parecen reflejar de nuevo la diversidad de sectores laborales en los que trabajan los egresados del máster. La asignatura más mencionada como útil en el trabajo es la de "Automatización y control".

De los 15 encuestados con empleo, se puede considerar que sólo dos de "Construcción rural", dos de "Automatización" y uno de "Proyectos" trabajan en la fecha de la encuesta en el ámbito concreto de su especialización en el máster. Sin embargo, 10 titulados de los 15 encuestados con empleo trabajan claramente en el ámbito de la agroingeniería.

Como competencias/habilidades generales que utilizan en su trabajo, las cuatro más mencionadas por los encuestados fueron:

- Trabajo en equipo (5 veces)
- Comunicación oral (5 veces)
- Negociación (2 veces)
- Organización del tiempo de trabajo (2 veces)

Los titulados reciben formación en estos aspectos en el máster, aunque determinados aspectos se podrían reforzar o mejorar.

Conclusiones

- La encuesta se ha realizado a un 30% (21 egresados) del total de los titulados del máster, en sus cinco promociones del 2010 al 2014. De estos 21 egresados encuestados, el 70% tiene un empleo remunerado en el 2015, mientras que el 30% no lo tiene. De los titulados del máster con empleo, aproximadamente un tercio trabaja en el ámbito de su especialidad en el máster; un tercio, en empleos sin relación con su especialidad pero dentro del ámbito de la agroingeniería; y otro tercio, en empleos con poca relación o sin relación con la agroingeniería (biotecnología, educación, consultoría).

- Los titulados del máster trabajan en un abanico bastante amplio de sectores. El sector de trabajo más mencionado entre los egresados es el de "Ingeniería" (21%), seguido de "Tecnologías agroforestales: agricultura y ganadería" (13%). Para cinco titulados, el máster sí ha funcionado como formación especializada, proporcionando una salida remunerada en el ámbito de la especialización cursada (dos en construcción, dos en automatización y uno en proyectos).

- Prácticamente todos los encuestados con empleo utilizan programas informáticos: los más utilizados son Microsoft Excel (87%), diseño asistido por ordenador (53%) y gestión de proyectos / Microsoft Project (33%). Podría recomendarse reforzar la formación en el máster en algunas de estas aplicaciones, por ejemplo con Autocad o Microsoft Project.

Algunos encuestados también piden mejorar la formación en temas financieros y de presupuestos.

- Como competencias generales que utilizan en su trabajo, las cuatro más mencionadas por los encuestados fueron el trabajo en equipo, las técnicas de comunicación oral y de negociación, y la organización del tiempo de trabajo. El máster incluye formación en todas estas competencias, que podría reforzarse en determinados temas.

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto de Innovación Educativa “Estudio de las titulaciones de centros extranjeros de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y Agroambiental, para promover la movilidad, la docencia en inglés y las dobles titulaciones”, dentro de la convocatoria 2014 de Ayudas a la Innovación Educativa y a la Mejora de la Calidad de la Enseñanza de la Universidad Politécnica de Madrid.

ANEJO: ENCUESTA REALIZADA

El objetivo de esta encuesta es conocer la situación laboral de los titulados en el Máster Universitario en Agroingeniería y las habilidades fundamentales que utilizan en su trabajo, con el objetivo de mejorar el máster actual. Te agradeceríamos mucho si pudieras contestar a las siguientes cuestiones:

Nombre y apellidos:

Título universitario : Máster Univ. en Agroingeniería Especialidad

Edad : años

Año de finalización del máster :

- Con la perspectiva de tu ámbito laboral, ¿puedes señalar una temática o incluso un campo de actividad que consideras que tiene una importante necesidad de titulados -es decir, hay posibilidades de empleo-, necesidad que no se cubre con las titulaciones actuales? (puede ser una asignatura, un área de trabajo o incluso una posible titulación universitaria diferente, próxima o dentro de las ingenierías de la rama agraria)

- Si tuvieras tiempo, y con el objetivo de mejorar tu situación laboral, en qué tema harías otro máster, o un curso más corto de especialización?

- Si perteneces a alguna asociación profesional o colectivo de ingenieros, por favor indícanos cuál:

¿Tienes trabajo actualmente? SI NO

Empresa:

Área general en la que encuadras tu trabajo actual:

Construcción, arquitectura y obra civil

Tecnologías de la información y las comunicaciones

Tecnologías industriales no agrarias

Industrias agrarias y alimentarias

Tecnologías agroforestales: agricultura y ganadería

Tecnologías medioambientales

Planificación rural/Desarrollo rural/Cooperación

Biología/Bioquímica/Biotecnología

Energía

Ingeniería

Marketing

Consultoría

Economía/Banca/Seguros

Administración/Gestoría

Educación

Investigación

Administración pública

- ¿Cuál es tu nivel de sueldo actual? (Bruto, anual)

< 25.000	
25.000 – 40.000	
40.000 - 60.000	
60.000 – 80.000	
> 80.000	

TEMÁTICAS (asignaturas o partes de asignaturas)

Por favor, indica qué temáticas (identificables como asignaturas o partes de asignaturas del máster) empleas habitualmente en tu trabajo:

1)

2)

3)

Por favor, indica si puedes asignaturas o temáticas, que realmente te han sido útiles posteriormente en el ámbito laboral, en las que recibiste una buena formación en el máster:

1)

2)

3)

Por favor, indica si puedes temáticas que has necesitado posteriormente al máster, en el ámbito laboral, que deberíamos incluir en el máster en agroingeniería:

1)

2)

3)

Tipos de paquetes informáticos que usas para el desarrollo de tu trabajo:

Microsoft Excel

Diseño asistido por ordenador (CAD, Catia u otros)

Gestión empresarial (SAP u otros)

Gestión de proyectos (Project u otros)

GIS (ArcGIS, ArcView u otros)

Matemáticas (Matlab, Scilab, Octave u otros)

Estadística o análisis de datos

Construcción (CYPE u otros)

Programas de contabilidad, seguridad social o nóminas

Programas informáticos en otros temas:

- ¿Puedes mencionar algunas habilidades de tipo general (del tipo: trabajo en equipo, comunicación oral, creatividad) que, a la vez, realmente emplees en tu trabajo, y en las que crees es importante formar al alumno en el máster en agroingeniería?

Gracias por tu tiempo,

José Luis García Fernández

Departamento de Ingeniería Agroforestal

IA05 - Estudio de titulaciones extranjeras relacionadas con la Ingeniería Agronómica para promover la movilidad estudiantil y nuevas dobles titulaciones.

Ruiz Mazarrón, F.¹; Moreno Cerezo, D.²; Porras Prieto, C.J.³; García Fernández, J. L.⁴

¹ Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Avenida Complutense s/n, Madrid, f.ruiz@upm.es. ² Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, d.morenoc@alumnos.upm.es. ³ Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Avenida Complutense s/n, Madrid, carlosjavier.porras@upm.es. ⁴ Universidad Politécnica de Madrid, ETSIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Avenida Complutense s/n, Madrid, joseluis.garciaf@upm.es.

Resumen

El presente trabajo pretende apoyar los programas de movilidad y las dobles titulaciones con Universidades extranjeras de la ETSI Agrónomos de Madrid, a través del análisis de los planes de estudio de titulaciones equivalentes en el extranjero. El objetivo principal es identificar afinidades y divergencias en la estructura y contenido de los planes de estudio, que pueda servir de utilidad a la hora de plantear posibles dobles titulaciones entre Universidades extranjeras y el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM, para un acercamiento de dicho grado a la oferta internacional ante su inminente reforma, así como para elaborar los contratos de estudios de alumnos de movilidad. Para llevarlo a cabo, se plantean una serie de objetivos específicos: Identificación de instituciones que oferten en la actualidad titulaciones equivalentes al grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la ETSI Agrónomos de Madrid, caracterización de los planes de estudio de titulaciones seleccionadas y determinación del grado de afinidad existente entre las titulaciones extranjeras y el grado de la ETSI Agrónomos de Madrid. Las conclusiones del presente trabajo pueden ayudar al acercamiento de los grados a la oferta internacional, lo que favorecería el establecimiento de dobles titulaciones y el desarrollo de la movilidad. Destaca la variación de la rigidez de los planes de estudio entre unas Universidades y otras. El grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM es uno de los que presenta mayor rigidez a la hora de diseñar el expediente de los alumnos. En otros centros, por el contrario, es habitual una obligatoriedad más flexible basada en materias. La duración de las titulaciones suele oscilar entre 3 y 4 años. Algunas titulaciones de Universidades extranjeras presentan una oferta de asignaturas/cursos que cubre una parte importante del temario del grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM; por el contrario, en otras Universidades, la oferta de asignaturas relacionadas con el contenido del grado es limitado.

Palabras clave: planes de estudio, contexto internacional, afinidades

Review of different degrees offered abroad related to the Agricultural Engineering to promote the students mobility and new double degrees.

Abstract

This project is expected to support study abroad programs as well as double degrees with several universities all around the world related to ETSI Agrónomos in Madrid. It will be managed through the study of the different course catalogs and syllabus of the related degrees at the mentioned universities. The main objective is to identify similarities and differences in the degrees structure and content; this information can be used to create new double degrees between some universities abroad and the Agricultural Engineering degree at the ETSI Agrónomos, in order to become more international in the imminent reform of the degree and to help with the Exchange students' learning agreements. To accomplish it, several partial objectives are targeted: Identification and selection of some universities that offer degrees similar to the Agricultural Engineering offered at the ETSI Agrónomos in Madrid, the profiling of the syllabus of the selected degrees, and to define how similar the degrees abroad are to the degree offered at the ETSI Agrónomos. The conclusions of this project will help UPM degrees to come closer to the international offer, stimulating the creation of double degrees and the students' exchanges. A

huge variety has been found in the flexibility of the study plans depending on the university. The degree in Agricultural Engineering at the Technical University of Madrid (UPM) has one of the stiffest offers when designing the study plan. On the other hand, in other institutions is common to have the possibility to choose a higher amount of courses attending to each student's interests. The duration of these degrees goes from 3 to 4 years in the vast majority of them. The degrees evaluated abroad also differ in their similarity to the Agricultural Engineering degree at the UPM: in some universities the courses offered are compatible with the ones at the UPM while in others have less academic contents in common.

Keywords: syllabus, international context, similarity

Justificación

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto de Innovación Educativa “Estudio de las titulaciones de centros extranjeros de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y Agroambiental, para promover la movilidad, la docencia en inglés y las dobles titulaciones”, dentro de la convocatoria 2014 de Ayudas a la Innovación Educativa y a la Mejora de la Calidad de la Enseñanza de la Universidad Politécnica de Madrid.

Dicho proyecto se articula en torno a una estrategia prioritaria de la E.T.S.I. Agrónomos para “apoyar la docencia en inglés en las titulaciones de grado y desarrollar acciones para promover dobles titulaciones con Universidades extranjeras”. Por ello, el presente trabajo pretende colaborar en la consecución de esta estrategia, a través del análisis de los planes de estudio de titulaciones equivalentes en el extranjero, y la identificación de las afinidades existentes. Un acercamiento de los grados a la oferta internacional favorecería el establecimiento de dobles titulaciones y el desarrollo de la movilidad, haciendo más atractiva la oferta académica.

Material y Métodos

Los trabajos se han estructurado en las siguientes fases:

- 1) Identificación de instituciones que oferten titulaciones relacionadas con el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la ETSI Agrónomos de Madrid, seleccionando un grupo de Universidades destacadas para llevar a cabo un análisis en profundidad.

En primer lugar se llevó a cabo una identificación de las Universidades que ofertan titulaciones relacionadas con la ingeniería agronómica. Para ello se recurrió al ranking QS, así como a los centros con los que se han llevado a cabo intercambios de movilidad en los últimos años (Erasmus, Magalhaes y acuerdos bilaterales). En total se identificaron más de 110 Universidades de más de 30 países.

Dado el gran número de Universidades identificadas, se realizó una selección de 6 Universidades en las que llevar a cabo un estudio exhaustivo, que sirva como primera aproximación del proyecto en el que se encuadra el presente trabajo. Se seleccionaron las Universidades mejor situadas en el ranking QS (2014 - Agriculture & Forestry) en América del Norte, América del Sur, Europa y Oceanía, junto a otras Universidades no destacadas en dicho ranking pero con las que se han tenido muchos intercambios de movilidad. De este modo, los centros seleccionados han sido: University of California Davis (1º QS), Wageningen University (2º QS), University of Queensland (18º QS), Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (22º QS), University of Illinois Urbana-Champaign, University of Liege.

2) Caracterización de las titulaciones relacionadas con el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la ETSI Agrónomos de Madrid

En cada una de las Universidades seleccionadas se ha llevado a cabo un estudio y caracterización de los planes de estudios, seleccionando aquellas titulaciones más relacionadas con la ingeniería agronómica. Para cada titulación se estudió su estructura, duración, flexibilidad de elección y especialización, idioma, etc. Las titulaciones analizadas son:

- University of California Davis: “Biological Systems Engineering”, “Plant Sciences”
 - Wageningen University: “Biosystems Engineering”, “Biotechnology”, “Soil, Water, Atmosphere”, “Animal Sciences”, “Food Technology”
 - Plant Sciences University of Queensland: “Agricultural Science” , “Agribusiness”, “Engineering (Honours)/Science”
 - Universidade Estadual de Campinas – Unicamp: “Engenharia Agrícola”
 - University of Illinois Urbana-Champaign: “Agricultural and Biological Engineering”, “Consumer and Environmental Sciences”, “Animal Sciences”, “Crop sciences”
 - University of Liege: “Bioengineering”
- 3) Determinación del grado de afinidad existente entre el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la ETSI Agrónomos de Madrid y las titulaciones extranjeras.

El temario de las asignaturas obligatorias del grado de la UPM se comparó con el temario de las asignaturas disponibles en las diferentes titulaciones extranjeras, sin hacer distinción entre especialidades ni tipo de materia (obligatoria, optativa...). Para ello, en los planes de estudio extranjeros se fue revisando asignatura por asignatura, identificando si cubrían parte del temario de las asignaturas obligatorias del grado de la UPM. Siguiendo esta metodología, se ha elaborado una tabla de afinidad que refleja las asignaturas de la UPM cuyo temario se imparte en las Universidades extranjeras (en una o varias asignaturas), susceptibles por tanto de ser cursadas por los alumnos de movilidad y reconocidas en el proceso de movilidad.

Resultados

Descripción de las titulaciones

A continuación se presenta una breve descripción de las titulaciones analizadas:

UNIVERSITY OF CALIFORNIA DAVIS, USA: Dispone de varias titulaciones relacionadas con la ingeniería agronómica, como “Agricultural and Environmental Education”, “Animal Science”, “Animal Science and Management”, “Entomology”, “Plant Sciences”, etc. Todas se imparten en inglés, y se organizan en unidades, siendo la duración habitual de 4 años y 180 unidades. Aunque existe un gran número de requisitos en las materias, suele ser habitual la posibilidad de elección de asignaturas dentro de una materia concreta, lo que da al estudiante mucha flexibilidad a la hora de diseñar su formación. Además, suele ser habitual la existencia de itinerarios o especialidades en últimos cursos. Se han seleccionado y analizado las dos titulaciones más relacionadas con el grado de la UPM:

- Plant Sciences major

La formación impartida se centra en la comprensión científica de cómo las plantas crecen y se desarrollan en los ecosistemas agrícolas, en la utilización de los productos vegetales para alimentos y fibras y en la mejora del medio ambiente. El plan de estudios profundiza en las ciencias biológicas y físicas y en cómo las plantas obtienen y utilizan los recursos de su entorno para sostener su crecimiento y desarrollo, en las influencias de la genética, sistemas de gestión e insumos ambientales, en el desarrollo de los cultivos y la productividad, en la conservación postcosecha y comercialización de productos vegetales. Existen diferentes posibilidades de especialización: “Crop Production”, “Plant Genetics and Breeding” y “Postharvest Biology and Technology”.

- Biological Systems Engineering

La formación impartida aborda aspectos relacionados con bioenergía, bioprocesos, biotecnología, procesamiento de alimentos, acuicultura, agricultura, producción vegetal, producción animal, producción forestal y recursos naturales. Durante los dos primeros años la formación se centra en materias comunes a otros programas de ingeniería, como matemáticas, física, química, ciencias de la ingeniería, junto con materias propias de los sistemas biológicos. Dispone de 3 grandes áreas de especialización: “Agricultural and Natural Resources Engineering”, “Biotechnology Engineering” y “Food Engineering”.

WAGENINGEN UNIVERSITY: Las asignaturas se imparten en holandés o inglés. Las titulaciones tienen muy poca flexibilidad, siendo los itinerarios (con asignaturas también fijadas) la única fuente de variabilidad en algunas de ellas. Además, los planes de estudios son muy específicos y diferentes al grado de la UPM; aunque aborda ciertas materias comunes, el contenido, enfoque y estructura presentan grandes diferencias. Por ello, se ha optado por analizar 5 titulaciones diferentes:

- Biosystems engineering

Los estudiantes adquieren conocimientos básicos en matemáticas, estadística, física, química y biología aplicada, así como en disciplinas de la ingeniería como la agricultura, mecánica, eléctrica y control de ingeniería, ingeniería física, ingeniería de diseño, modelado, informática, investigación de operaciones y logística, economía. Es el grado ofertado en Wageningen con más asignaturas relacionadas con la ingeniería. Es un grado de tres años en el que, para poder realizar el trabajo de fin de grado (BCs Thesis) es necesario superar 102 créditos de las asignaturas ofertadas entre CS (Compulsory courses) y RO (Restricted optionals).

- Biotechnology

El programa integra disciplinas biológicas y de ingeniería de procesos. Las células, enzimas o tejidos se utilizan para fines de análisis o producción. Es un grado de tres años que se centra mucho más en las asignaturas de química y matemáticas primeros cursos y biología y genética en los más avanzados. Está dividido en 6 períodos semestrales.

- Soil, Water and Atmosphere

Esta titulación de tres años se centra en los procesos físicos, químicos y biológicos que operan en y entre la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera en varios niveles

espaciales y temporales. Además, aborda el impacto de las actividades humanas en la Tierra y la sostenibilidad. Durante los dos primeros años, los estudiantes adquieren un conocimiento amplio del suelo, el agua y la atmósfera y un conocimiento profundo de matemáticas, física y química. En el tercer año, los estudiantes pueden elegir entre una serie de cursos avanzados en las áreas de suelo, agua y atmósfera.

- Animal sciences

Este grado tiene mucho contenido común con los cursos más avanzados del grado en la ETSIA, en las materias relacionadas con la producción animal. Trata de focalizar en los conocimientos y la comprensión de las bases biológicas y conceptos del funcionamiento de los animales domésticos, así como conocimientos básicos de matemáticas, estadística, química y economía. El programa está dirigido a todo tipo de animales (animales de granja, pesca, caballos, perros y gatos..), y se centra en aspectos como la salud y el bienestar animal, la cría, la nutrición y la calidad de los productos de origen animal. Los itinerarios posibles se centran en animales terrestres y acuáticos.

- Plant sciences

Se centra en la producción de cultivos que van desde la cría hasta el desarrollo de sistemas de producción de plantas para la producción de alimentos de origen vegetal, alimentos de alta calidad, ingredientes alimentarios, productos farmacéuticos y materias primas. Es un grado de tres años centrado en la producción vegetal con contenidos de nutrición vegetal y los suelos. Tiene dos itinerarios, uno relacionado con la producción y otra con la genética y mejora vegetal.

UNIVERSITY OF QUEENSLAND, AUSTRALIA: Dispone de tres titulaciones relacionadas con la ingeniería agronómica, impartidas en inglés. Además presenta titulaciones de ingeniería que podrían complementar la formación de los alumnos de programas de movilidad. La duración de las titulaciones varía entre 3 y 5 años.

- Bachelor of Agricultural Science (Honours)

Ofrece una amplia gama de cursos que cubren materias de economía, bioquímica, microbiología, genética, nutrición animal, desarrollo agrícola, uso de la tierra y medio ambiente. La duración es de 4 años. El estudiante debe completar 64 unidades en total, que comprende 42 de parte común (36 obligatorias, 6 entre opciones), y 22 de especialidad, pudiendo elegir entre “Animal Science” y “Plant Science”. Dentro de la especialidad, el alumno puede elegir entre un gran catálogo de asignaturas ofertadas.

- Bachelor of Agribusiness

Trata la comercialización, las finanzas y la gestión a lo largo de la cadena de valor agroalimentaria que vincula a los productores con los consumidores, así como el estudio de contabilidad, economía y estudios de mercado en un contexto de agronegocios. La duración es de 3 años, requiriendo superar 48 unidades, que comprende 32 de obligatorias y 16 de optativas.

- Bachelors of Engineering (Honours)/Science

Dentro de esta doble opción existen numerosas especializaciones (Ingeniería Química, Ingeniería Civil, etc; Química, Ecología, Ciencias de las Plantas, etc.). Los alumnos deben seleccionar una especialización de los dos tipos, por lo que la gran oferta

disponible no se puede cursar de forma simultánea ni en el mismo centro. La duración es de 5 años, debiendo superar 80 unidades, de las cuales 62 son de Ingeniería y 18 de Ciencia.

UNIVERSIDADE ESTATUAL DE CAMPINAS – UNICAMP: Los grados se imparten prácticamente en su totalidad en portugués. El grado que tiene más afinidad con la ingeniería agronómica es el de “Engenharia Agricola”.

- Engenharia Agricola

Tiene una duración de 5 años (10 semestres), teniendo que superarse 253 créditos. En cuanto a la optatividad, existen un gran número de asignaturas optativas entre las que elegir, sin embargo, el número de créditos optativos es de 24, una pequeña parte de la carrera.

UNIVERSITY OF ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN: Los grados son de cuatro años y constan de un total de 120 créditos. Cada crédito de esta Universidad corresponde a una hora de docencia en clase semanal. Todos los grados se ofertan en inglés. En cada grado el alumno tiene que cursar un número determinado de asignaturas obligatorias, existiendo para el resto una enorme flexibilidad de elección entre asignaturas del grado. Hay cuatro grados relacionados con la ingeniería agronómica:

- Agricultural and Biological Engineering (ABE)

Es el grado de ingeniería propiamente dicho, no trata prácticamente temas de sistemas de producción desde el trabajo en el campo, sino que se centra en diseño de maquinaria.

- Consumer and Environmental Sciences (ACE)

Dentro de la rama agrícola, este grado se centra en la parte económica del sector, así como el marketing, los mercados y las políticas agrarias estadounidenses.

- Animal Sciences

Sin ser propiamente un grado centrado en la producción, combina los estudios de ganadería con los de veterinaria, dando una visión global de las ciencias animales.

- Crop Sciences

Desde el mismo punto de vista que las ciencias animales, el estudio de plantas en este grado ofrece dos alternativas en forma de itinerarios: Producción vegetal (centrado en la producción agraria) y la horticultura.

UNIVERSITY OF LIEGE: las titulaciones relacionadas con la ingeniería agronómica forman parte de la escuela de agricultura, llamada Gembloux Agro-Bio Tech, impartándose en francés. Entre los cursos relacionados, destaca el grado “Bioengineering”:

- Bioengineering

En un grado de tres años, en el que en el último semestre (6º periodo) se ofrecen cuatro itinerarios: agronomía, química e industria, ciencias y tecnologías ambientales y gestión forestal. Consta de un total de 180 créditos ECTS distribuidos en asignaturas semestrales y anuales. En cuanto a la flexibilidad de este grado, los dos primeros cursos son comunes y troncales, y parte del tercero también, pero los 37 créditos que corresponden a parte del 5º semestre y del 6º se eligen dentro de los itinerarios mencionados.

Determinación del grado de afinidad con el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM

Tras la identificación de las titulaciones, se procedió a llevar a cabo la determinación del grado de afinidad existente entre el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la ETSI Agrónomos de Madrid y las titulaciones extranjeras, resumiendo los resultados en la tabla 1.

Algunas titulaciones de Universidades extranjeras presentan una oferta de asignaturas/cursos que cubre una parte importante del temario del grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM; por el contrario, en otras Universidades la oferta de asignaturas relacionadas con el contenido de las titulaciones es limitado.

La titulación “Biological Systems Engineering” de UC Davis es la que más afinidad presenta con el grado, con una gran variedad de asignaturas relacionadas, susceptibles de ser reconocidas en procesos de movilidad. En esta misma Universidad “Plant Sciences” también presenta muchas asignaturas ofertadas, aunque repartidas en tres especialidades distintas, y carece de materias ingenieriles y materias relacionadas con los animales.

Wageningen tiene un plan de estudios muy específico y particular. Aunque aborda ciertas materias comunes a las del grado de la UPM, el contenido y estructura del mismo no se considera suficientemente parecido como para ser reconocidas en el proceso de movilidad.

Tabla 1. Existencia de una o varias asignaturas en la Universidad extranjera que cubren una parte importante del temario de las asignaturas obligatorias del grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM

Nombre de la asignatura	Plant Sciences major (UC DAVIS)	Biological Systems Engineering (UC DAVIS)	Biosystems Engineering (WAGENINGEN)	Biotechnology(WAGENINGEN)	Soil, W and Atm(WAGENINGEN)	Animal Sciences(WAGENINGEN)	Food technology(WAGENINGEN)	Plant Sciences(W WAGENINGEN)	Agricultural Science QUEENSLAND)	Agribusiness (QUEENSLAND)	Engineering /Science (QUEENSLAND)	Engeneira Agrícola (CAMPINAS)	Agricultural and Biological Engineering (ILLINOIS)	Consumer and Eviromental Sciences (ILLINOIS)	Animal sciences (ILLINOIS)	Crop Sciences (ILLINOIS)	Bioengineering (LIEGE)
Cálculo Diferencial e Integral	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X			X
Física I	X	X	X		X				X		X						X
Química I	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X				X
Expresión Gráfica												X					
Biología	X	X	X					X	X		X						X
Álgebra lineal y Aplicaciones		X	X	X				X			X		X	X			X
Física II	X	X					X				X						
Química II	X	X	X	X	X		X	X			X		X				
Economía General	X		X						X	X		X		X			
Geología	X										X						
Climatología					X							X					
Cálculo De Varias Variables	X	X									X		X	X			
Bioquímica		X		X		X	X	X	X		X						X
Termodinámica y Motores Endotérmicos		X		X							X	X	X				X
Hidráulica		X									X						
Edafología	X	X			X			X	X			X					X
Fisiología Vegetal	X	X	X					X	X							X	
Fisiología Animal		X	X			X		X	X						X		X
Topografía, Cartografía y Fotogrametría		X															
Electrotecnia y Electrónica		X									X		X				X
Mecánica de Materiales y Análisis Estructural		X									X						X
Estadística	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X	X			X
Fitotecnia I. Bases de la Producción Vegetal	X	X							X	X							X
Mejora Genética Animal						X			X						X		
Estructuras Metálicas y Elementos de Edificación											X	X					
Nutrición Animal		X				X			X						X		
Ingeniería del Riego y del Drenaje	X	X										X					
Economía de la Empresa	X		X						X	X	X						
Genética y Principios de Mejora	X	X						X	X		X					X	X
Inglés para la Comunicación Profesional y Académica																	X
Fitotecnia II. Tecnología de la Producción Vegetal	X	X							X	X						X	
Botánica Agrícola	X	X							X								X
Geotecnia y Cimentaciones. Obras de Infraestructura..	X									X	X						
Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión											X						
Proyectos de Ingeniería Agronómica. Evaluación																	
..	X									X	X						

Ingeniería de la Maquinaria Agrícola	X	X				X			
Cultivos Herbáceos	X							X	
Arboricultura General	X	X						X	X
Producciones Animales I		X	X	X	X		X		X
Producciones Animales II		X	X	X	X		X		X
Protección de Cultivos	X			X	X				
Valoración Agraria y Evaluación de Inversiones									
Trabajo de fin de grado						X			

Conclusiones

El presente trabajo supone una primera aproximación al estudio de las titulaciones extranjeras relacionadas con la ingeniería agronómica, dentro del proyecto en el que se enmarca. El análisis de las Universidades seleccionadas, referentes en el ranking QS, permiten extraer unas primeras conclusiones de utilidad para la movilidad estudiantil y la aproximación de nuestros planes de estudio al contexto internacional.

La rigidez de los planes de estudio varía mucho de unas titulaciones a otras. El grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM es uno de los que presenta mayor rigidez a la hora de diseñar el expediente de los alumnos; la mayor parte de las asignaturas son obligatorias, quedando tan sólo 20 créditos de optativas para que el alumno especialice su formación. En otros centros, por el contrario, encontramos una obligatoriedad más flexible basada en materias, dando al alumno la libertad de seleccionar entre diferentes asignaturas relacionadas. Además, la carga de especialización es por lo general mayor.

La duración de las titulaciones suele oscilar entre 3 y 4 años, salvo en casos excepcionales como dobles titulaciones (ej: Bachelors of Engineering (Honours)/Science de la Universidad de Queensland). Entre las titulaciones ofertadas dentro de una misma Universidad, es habitual que existan dos titulaciones distintas focalizadas en plantas y animales.

Los alumnos de movilidad tienen que seleccionar asignaturas que presenten una alta afinidad con las asignaturas obligatorias de su grado, si pretenden que éstas les sean reconocidas. Algunas titulaciones de Universidades extranjeras, como “Biological Systems Engineering” de UC Davis, presentan una oferta de asignaturas/cursos que cubre una parte importante del temario del grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM; por el contrario, en otras Universidades, como Wageningen, la oferta de asignaturas relacionadas con el contenido de las titulaciones es limitado. Por otra parte, en muchos casos, las asignaturas están ofertadas en diferentes especialidades, titulaciones o incluso campus, que podrían imposibilitar que los alumnos cursen dichas asignaturas. Todas estas consideraciones deberían ser tenidas en cuenta por los alumnos a la hora de escoger posibles destinos de movilidad.

Las divergencias señaladas en este trabajo, en cuanto a estructura y contenido de las titulaciones extranjeras, deberían ser tenidas en cuenta a la hora de plantear posibles dobles titulaciones entre Universidades extranjeras y el grado de Ingeniería y Ciencia Agronómica de la UPM, o a la hora de plantear un acercamiento de dicho grado a la oferta internacional.

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto de Innovación Educativa “Estudio de las titulaciones de centros extranjeros de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y Agroambiental, para promover la movilidad, la docencia en inglés y las dobles titulaciones”, dentro de la convocatoria 2014 de Ayudas a la Innovación Educativa y a la Mejora de la Calidad de la Enseñanza de la Universidad Politécnica de Madrid.

IA06 - Acciones innovadoras de coordinación y promoción del Grado en Ingeniería Agrícola.

Tascón, A.¹; Tenorio, C.¹

¹ Departamento de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Av. Madre de Dios 51, 26006 Logroño, alberto.tascon@unirioja.es, carmen.tenorio@unirioja.es.

Resumen

En el curso 2013/2014 se graduó la primera promoción de alumnos del Grado en Ingeniería Agrícola de la Universidad de La Rioja (UR), que consta de dos menciones: Hortofruticultura y Jardinería, Industrias Agrarias y Alimentarias. Además, la UR ofrece el Grado en Enología, compartiendo ambos títulos un número importante de asignaturas, incluyendo varios itinerarios de asignaturas optativas en cuarto curso. También se comparte parte de las instalaciones y del profesorado. Esto hace que la coordinación entre ambas titulaciones haya sido imprescindible durante estos años. Algunos estudiantes de los dos grados y también alumnos de bachillerato y sus padres, que nos visitan en las jornadas de puertas abiertas, han mostrado interés en obtener las dos titulaciones. Aprovechando los elementos comunes entre ambos títulos y la coordinación realizada, se han programado unos itinerarios formativos para aquellos alumnos que deseen obtener los dos grados. La formación adicional en enología aprovecha los puntos fuertes de nuestra Facultad y de nuestro entorno agrícola y empresarial. Esta actuación puede servir para potenciar ambos grados y hacerlos más atractivos. Por otro lado, se han realizado encuestas a los alumnos de nuevo ingreso para identificar diversos aspectos de interés para la titulación. Todas estas actuaciones se enmarcan en un proceso continuo de mejora y potenciación del Grado en Ingeniería Agrícola y del Grado en Enología.

Palabras clave: Universidad de La Rioja, enología, plan de estudios, EEES, encuestas.

Innovative coordination and promotion actions for the Agricultural Engineering Degree

Abstract

In the academic year 2013/2014 the first cohort of students obtained the Bachelor's degree in Agricultural Engineering at the University of La Rioja (UR), which is adapted to the European Higher Education Area and includes two different specializations ("Food Industries" and "Horticulture and Gardening"). In addition, the University of La Rioja offers a Bachelor's degree in Oenology. Both UR degrees have a lot in common, including a significant part of the course syllabus design, some optional subjects in the 4th year, laboratories and teaching staff. In consequence, a close coordination between both degrees has been essential. Some students have shown a strong interest in obtaining both degrees. In addition, some of the high secondary school students and their parents, who visit our Faculty during the programmed open days, have expressed that the option of earning both degrees would be very attractive. Taking advantage of the common elements between both degrees and the coordination actions implemented, some formative itineraries have been planned to allow the students to achieve that aim. Such further education in oenology and viticulture makes good use of our Faculty's strengths and rests on the strong and celebrated Rioja wine region. This action could enhance both degrees and makes them more attractive to future students. On the other hand, a survey to first-year agricultural engineering students has been conducted to identify some aspects of their background and motivations. These innovative actions are part of a continuous process of improvement of both the Agricultural Engineering degree and the Oenology degree.

Keywords: University of La Rioja, oenology, syllabus, EHEA, surveys.

Introducción

Los estudios de carácter agroalimentario han formado parte de las líneas estratégicas de la Universidad de La Rioja (UR) desde sus inicios. Ya en 1992, año de creación de la

UR, se impartían las titulaciones de Ingeniero Técnico Agrícola en sus especialidades de Industrias Agrarias y Alimentarias y de Hortofruticultura y Jardinería.

La titulación de Enología, como estudios de 2º ciclo, se empezó a impartir en la UR en el año 1996, mismo año en que este título fue creado por el Ministerio de Educación. La experiencia docente en enología se remonta aún más en el tiempo, ya que desde 1988 se impartía el Magíster en Viticultura y Enología en la entonces llamada Escuela Universitaria Politécnica de Logroño, dependiente de la Universidad de Zaragoza, en la que también se impartían las ingenierías técnicas agrícolas.

Por otro lado, la UR ha contado con programas de doctorado en ciencias agrícolas desde hace 15 años. El programa de Doctorado en Ciencias Agrarias y Alimentarias se empezó a impartir en el curso académico 1999/2000. Posteriormente, este programa dio lugar a otros doctorados que se han ido sucediendo a lo largo de los años (Alimentos y Salud humana, Enología, Ecosistemas Agrícolas Sostenibles), culminando en el vigente programa de doctorado en Enología, Viticultura y Sostenibilidad. Estos programas de doctorado han estado vinculados a una importante actividad investigadora en diversos campos relacionados con la agricultura y la industria agroalimentaria.

El PIB del sector agrario en La Rioja representa el 5,3% sobre el total de la comunidad (año 2013); esta cifra es muy superior al peso del sector agrario a nivel nacional, que sólo alcanza el 2,5% (Instituto de Estadística de La Rioja, 2015). El buque insignia de los productos agrarios de La Rioja es el vino, regulado por la Denominación de Origen Calificada Rioja, que también incluye zonas de producción en Navarra y Álava. También es muy significativa la producción hortícola y frutícola, las industrias conserveras y otras industrias alimentarias. Además, la producción de hongos en La Rioja alcanza aproximadamente la mitad del total de la producción nacional. Por tanto, las titulaciones universitarias anteriormente mencionadas han estado en consonancia con el entorno económico propio de La Rioja.

Las antiguas titulaciones han sido adaptadas al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Las dos titulaciones de Ingeniero Técnico Agrícola se han transformado en un Grado en Ingeniería Agrícola que cuenta con dos menciones de especialización, “Industrias Agrarias y Alimentarias” y “Hortofruticultura y Jardinería”. Dicho grado cumple con la Orden CIN/323/2009, que regula las titulaciones que habilitan para el ejercicio profesional (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2009). El 2º ciclo de Enología ha pasado a ofertarse también como un Grado en Enología.

Ambos grados se planificaron desde sus memorias de verificación con el objetivo de optimizar los recursos y crear sinergias. La implantación de las titulaciones a través de sus correspondientes planes docentes se realizó compartiendo algunas asignaturas, así como laboratorios y personal docente. Desde la implantación de ambos grados en el curso 2010/2011, la coordinación entre ambos ha sido fundamental. Por otro lado, algunos alumnos de ambos grados y también alumnos de bachillerato y sus padres, que nos visitan en las jornadas de puertas abiertas, han mostrado su interés en la posibilidad de obtener ambas titulaciones. En consecuencia, aprovechando los elementos comunes entre ambos grados y la coordinación realizada, se ha estudiado la posibilidad de ofrecer a los alumnos dicha opción, manteniendo cada grado su propia estructura e independencia actuales.

Por otro lado, hace algunos años se observó una tendencia negativa en el interés que suscitaban los títulos de ingenierías agrarias y forestales en España entre los alumnos de nuevo ingreso (ANECA, 2005); de manera global la tendencia ha sido similar en otras ingenierías (UNESCO, 2010). Sin embargo, la demanda de ingenieros continúa siendo muy importante y las perspectivas laborales son significativamente mejores que para otros titulados (UNESCO, 2010). En consecuencia, el problema planteado es cómo atraer a nuevos alumnos y formarles de manera adecuada según lo que demanda el mercado laboral (Tascón *et al.*, 2014).

Además de la adaptación al EEES, las titulaciones de ingenierías agrarias llevan un tiempo en proceso de reflexión y adaptación a los retos que plantea el mundo actual. Este proceso de reflexión y modernización no es ajeno al resto de ingenierías. Según Tadmor (2006), quizá sería necesario, con unos límites cada vez más difusos entre unas disciplinas y otras, replantear las titulaciones de ingeniería y la profesión misma, creando nuevas titulaciones de ingeniería-ciencia o ciencia-ingeniería. Vest (2006), planteó con mucha claridad los retos a los que se enfrentará la ingeniería del siglo XXI: aunar las ciencias físicas, de la vida y de la información al trabajar en sistemas a micro y nano-escala; y por otro lado, concebir, diseñar y manejar sistemas de ingeniería de gran complejidad y tamaño, relacionados con la energía, el medioambiente, la logística, la alimentación, etc. A este respecto, ya se han presentado algunos estudios sobre la evolución de la ingeniería agraria tradicional hacia una ingeniería biológica o una ingeniería de biosistemas (Young, 2006; Briassoulis *et al.*, 2014).

En este contexto, el presente trabajo recoge diversas actuaciones llevadas a cabo en el Grado de Ingeniería Agrícola de la Universidad de La Rioja con el objetivo último de potenciar la titulación y hacerla más atractiva para la sociedad y los futuros estudiantes.

Material y Métodos

Este trabajo no se ajusta completamente a la estructura típica de una investigación científica, sino que recoge una labor de coordinación llevada a cabo durante los últimos años entre el Grado en Ingeniería Agrícola y el Grado en Enología de la UR y que han culminado en un proyecto de innovación docente financiado por la UR. La interacción y coordinación realizada entre ambas titulaciones se puede considerar como la metodología de este trabajo.

Ambas titulaciones se imparten dentro de la “Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática” de la UR, en la que también se imparten otras titulaciones de ciencia y de ingeniería. Cada titulación cuenta con un Director de Estudios, que es el responsable de la coordinación horizontal y vertical, del seguimiento del desarrollo de los estudios, de la coordinación y supervisión de las guías docentes y cronogramas, de proponer las comisiones de evaluación de los trabajos de fin de grado, de orientar a los estudiantes y futuros estudiantes, de supervisar la movilidad nacional e internacional de los estudiantes y de valorar los resultados y la satisfacción con la formación recibida por los estudiantes, entre otras funciones. Los autores del presente trabajo son los Directores de Estudios de Ingeniería Agrícola y de Enología, respectivamente.

Las herramientas de trabajo utilizadas en este estudio han incluido reuniones de trabajo entre los Directores de Estudio de ambas titulaciones, reuniones del equipo decanal de

la Facultad y de la Comisión Académica de la Facultad, reuniones con el profesorado, así como charlas informativas y reuniones con los alumnos y delegados de alumnos.

El Grado en Ingeniería Agrícola de la UR

En el curso 2010/2011 se empezó a impartir el Grado en Ingeniería Agrícola de la UR, que consta de dos Menciones: Industrias Agrarias y Alimentarias, Hortofruticultura y Jardinería. La estructura del plan de estudios se compone de materias básicas, materias comunes a la rama agrícola, materias propias de la tecnología específica de cada una de las dos Menciones, asignaturas optativas (21 ECTS) en 4º curso, prácticas externas y trabajo fin de grado.

El 1º curso y el 2º curso son comunes para todos los alumnos. En 2º curso se incluyen 6 ECTS que corresponden a la tecnología específica de Industrias Agrarias y Alimentarias (IA) y otros 6 ECTS de la tecnología específica de Hortofruticultura y Jardinería (HJ), para facilitar a los alumnos la decisión sobre qué Mención desean cursar. En 3º curso y 4º curso, además de algunas asignaturas comunes, se incluyen las asignaturas propias de cada Mención. En 4º curso, además de algunas materias comunes, los alumnos eligen 21 ECTS optativos a elegir entre cuatro posibles itinerarios formativos, hacen prácticas externas y defienden su trabajo fin de grado. El título suma en total 240 ECTS, al igual que el Grado en Enología. La estructura general del plan de estudios se resume en la Tabla 1.

Es importante aclarar que todos los alumnos cursan obligatoriamente 12 ECTS de la Mención que no han seleccionado cursar. De esta forma, todos los alumnos tienen una formación inicial tanto en industrias agrarias como en la producción hortofrutícola.

Tabla 1. Estructura del plan de estudios del Grado en Ingeniería Agrícola de la UR

Formación básica (ECTS)	Comunes y obligatorias (ECTS)	Mención elegida (ECTS)	Mención no elegida (ECTS)	Optativas (ECTS)	Prácticas Externas (ECTS)	TFG (ECTS)
66	72	51	12	21	6	12

En cuanto a las asignaturas optativas de 4º curso, dos de los itinerarios ofrecidos están formados por asignaturas que intensifican la Mención correspondiente (industrias u hortofruticultura) y los otros dos itinerarios están formados por asignaturas procedentes del Grado en Enología, proporcionando una especialización en viticultura o en enología (ver Tabla 2). Del conjunto de asignaturas optativas ofertadas en enología y viticultura se han elaborado unas recomendaciones de bloques de asignaturas de forma que el conjunto de asignaturas que cursen los alumnos sea coherente.

Tabla 2. Asignaturas optativas procedentes del Grado en Enología

Asignaturas del perfil optativo en Viticultura	Asignaturas del perfil optativo en Enología
Viticultura general	Enología I
Prácticas integradas en viticultura	Enología II

Fisiología de la vid	Microbiología enológica
Técnicas vitícolas	Bioquímica enológica
Protección del viñedo	Ingeniería de procesos enológicos
Legislación vitivinícola	Legislación vitivinícola

Además de las asignaturas optativas de 4º curso, hay otras asignaturas que forman parte del plan de estudios del Grado en Ingeniería Agrícola y que son compartidas con el Grado de Enología. De hecho, el 1º curso es común entre ambas titulaciones, habiendo adoptando el Grado en Enología, al pasar de ser un título de 2º ciclo a un grado, las asignaturas de 1º curso de Ingeniería Agrícola (Matemáticas, Física, Química, Biología, Bioquímica, Geología suelo y clima, Empresa). En los otros tres cursos también hay algunas asignaturas comunes entre ambos títulos, que son: Producción vegetal, Protección de cultivos, Operaciones básicas de la industria alimentaria, Microbiología, Gestión de residuos, Sistemas de calidad y seguridad.

Por último, de forma análoga al Grado en Ingeniería Agrícola, el Grado en Enología tiene tres perfiles de asignaturas optativas ofertados en 4º curso, estando uno de ellos formado por asignaturas del Grado en Ingeniería Agrícola. Algunas de estas asignaturas son de la rama común agrícola y otras pertenecen exclusivamente a la Menció en Industrias Agrarias y Alimentarias. Este itinerario optativo ofertado en el Grado en Enología está especialmente pensado para aquellos alumnos que deseen obtener también el Grado en Ingeniería Agrícola. Las asignaturas ofertadas son: Expresión gráfica, Topografía-cartografía-SIG, Estructuras y construcción, Proyectos, Procesos tecnológicos, Diseño de industrias, y Equipos y máquinas en ingeniería alimentaria. En este caso también se han planificado unas recomendaciones de bloques coherentes de asignaturas optativas a partir del conjunto de asignaturas ofertadas, teniendo en cuenta si el alumno aspira a obtener la Menció en Industrias Agrarias y Alimentarias o la Menció en Hortofruticultura y Jardinería.

Dado el gran número de asignaturas compartidas entre los dos grados, la coordinación ha sido fundamental desde la implantación del primer curso de los grados.

Coordinación con el Grado en Enología

La coordinación entre ambos grados ha sido imprescindible. Los elementos compartidos entre ambos títulos son: asignaturas comunes de carácter obligatorio, asignaturas procedentes de un título y ofertadas como optativas en el segundo, profesorado, y utilización de espacios docentes (aulas, laboratorios, invernadero y campo de prácticas).

A continuación se detallan las labores de coordinación habituales que han realizado cada curso académico:

- Coordinación en la elaboración de horarios.
- Coordinación en las fechas de exámenes.
- Coordinación en la elaboración y revisión de las guías docentes de las asignaturas compartidas.
- Coordinación en la jornada de acogida a nuevos estudiantes y sesiones informativas.

- Coordinación en las jornadas de puertas abiertas.

Además, debido a los procesos de evaluación relacionados con ANECA se ha realizado un esfuerzo adicional de coordinación para diversos aspectos puntuales. En las memorias verificadas aparecen módulos y materias compartidas entre ambos títulos, por lo que cualquier cambio en una de las memorias afecta a la otra y debe tenerse en cuenta. En los procesos de acreditación y renovación de las titulaciones inevitablemente la coordinación e interacciones entre ambos títulos han estado presentes.

El doble título Ingeniería Agrícola/Enología

Con el planteamiento actual de las memorias verificadas de ambos títulos y el correspondiente desarrollo llevado a cabo en la planificación docente, expuestos anteriormente, un alumno que se gradúe en Ingeniería Agrícola tiene la posibilidad de obtener el Grado en Enología en un tiempo que puede resultar muy atractivo, y viceversa.

Si un alumno tiene como objetivo graduarse en ambos títulos tiene a su disposición los perfiles optativos explicados anteriormente. Haciendo uso de ellos, en la Tabla 3 se presenta la carga de créditos ECTS que se reconocerían y los que tendrían que cursar todavía.

Tabla 3. *Créditos ECTS reconocidos y pendientes de cursar para obtener la doble titulación Ingeniería Agrícola/Enología*

Graduado en...	Asignaturas reconocidas en el otro grado	Asignaturas a cursar en el otro grado
Ingeniería Agrícola, mención en Industrias Agrarias y Alimentarias (IA)	148,5 ECTS	73,5 ECTS + PE + TFG
Ingeniería Agrícola, mención en Hortofruticultura y Jardinería (HJ)	132,0 ECTS	90 ECTS + PE + TFG
Enología	154,5 ECTS	73,5 ECTS + TFG
Enología	132,0 ECTS	90 ECTS + TFG

Los trabajos fin de grado (TFG) no son objeto de reconocimiento por lo que el alumno debe de realizar los dos, y serían de la misma entidad que el alumno que sólo está interesado en obtener un grado; el de Ingeniería Agrícola será un proyecto de ingeniería de naturaleza profesional (12 ECTS) y el de Enología un trabajo relacionado con la enología o la viticultura (6 ECTS). En cuanto a las prácticas externas (PE), en el Grado en Ingeniería Agrícola constan de 6 ECTS y el alumno puede acudir a cualquier empresa o institución relacionada con la ingeniería agraria, mientras que en el caso del Grado en Enología constan de 12 ECTS y obligatoriamente se realizarán en una bodega. Las PE de Enología son anuales y tienen la particularidad de tener un programa formativo muy detallado y exigente, que obliga a que el alumno realice una serie de actividades concretas a lo largo del año en una bodega, aunque el grueso de las prácticas se realiza durante la vendimia, típicamente desde finales de agosto hasta

finales de octubre, tiempo durante el cual no hay clases en 4º curso del Grado en Enología. En muchos casos el TFG de Enología se realiza conjuntamente con las PE, aprovechando las actividades prácticas realizadas en la bodega.

Con los datos presentados en la Tabla 4, se deduce que la doble titulación supondría normalmente una duración temporal total de 6 cursos académicos. En el caso de que un estudiante ya tuviera desde el principio de sus estudios universitarios el objetivo de obtener la doble titulación, podría matricularse de alguna asignatura adicional en alguno de los cursos académicos, por encima de los 60 ECTS previstos anualmente, de forma que incluso podría llegar a reducir el tiempo necesario a 5 cursos o 5,5 cursos. Evidentemente, esta última opción sólo sería aconsejable para alumnos con un rendimiento académico excelente. Por otro lado, si un alumno de Ingeniería Agrícola viera alargarse sus estudios hasta 5 cursos, quedándole por cursar únicamente en el último año alguna asignatura y su TFG, podría matricularse también de más asignaturas de Enología de las ofertadas en los perfiles optativos, reduciendo de esa forma la carga de créditos a cursar en el Grado de Enología; de esta forma, podría llegar a obtener igualmente la doble titulación en 6 cursos académicos.

En el curso actual ya hay dos graduados en Ingeniería Agrícola cursando el Grado en Enología y un graduado en Enología cursando el Grado en Ingeniería Agrícola en la mención de Industrias Agrarias y Alimentarias. Es previsible que esas cifras vayan incrementándose, dado el interés que muestran al respecto los alumnos.

La planificación realizada pone en valor las fortalezas del personal docente e investigador y las instalaciones de la UR y también del sector agrario y socioeconómico de nuestro entorno, ofreciendo un título en Ingeniería Agrícola diferenciado y atrayente, al mismo tiempo que habilita para el ejercicio de la profesión según la Orden CIN/323/2009.

Encuestas realizadas a alumnos de nuevo ingreso en el Grado en Ingeniería Agrícola

En la dos últimas décadas el descenso en las cifras globales de matriculados ha sido una fuerte preocupación en el ámbito de las ingenierías agrarias y forestales en España (ANECA, 2005). En muchas Universidades se han reforzado las charlas informativas y las actividades de difusión en los centros de secundaria. Con el objeto de conocer mejor a los estudiantes que deciden matricularse en el Grado en Ingeniería Agrícola y de esta manera intentar potenciar su número, así como conseguir su permanencia en los estudios, se ha obtenido información sobre algunas características de los alumnos de nuevo ingreso mediante el diseño de unas encuestas. Las encuestas han sido realizadas a los alumnos de primero en el curso académico 2013/14, con un total de 44 alumnos de nuevo ingreso, y en el curso académico 2014/15, con 43 alumnos de nuevo ingreso; por tanto, la población total fue de 87 alumnos. Las encuestas cumplimentadas fueron 29 en 2013/14 y 33 en 2014/15, lo cual supone un 71% de la población de estudio.

En el presente trabajo se muestran los resultados relativos a dos cuestiones de interés: los aspectos que influyeron en la decisión de matricularse en estos estudios y la formación previa cursada en bachillerato.

En cuanto al primer ítem, en la Figura 1 se muestran los motivos por los que el alumno tomó su decisión de iniciar los estudios en Ingeniería Agrícola. Las distintas respuestas

no eran excluyentes, es decir, cada alumno podía seleccionar simultáneamente varias respuestas. De los resultados obtenidos se deduce que hubo tres aspectos cuya importancia fue muy superior al resto: la información disponible en internet, un cierto aspecto vocacional, y la influencia de la familia del alumno.



Figura 1. Aspectos que el alumnado consideró para decidir matricularse en Ingeniería Agrícola

En cuanto al segundo ítem, la Tabla 4 recoge el porcentaje de alumnos que cursaron en bachillerato diversas asignaturas de carácter básico. Hay que resaltar el alto porcentaje de alumnos que no cursó física en el bachillerato, mucho más elevado que en el caso de matemáticas, química o biología. Esta falta de formación previa, debida a la flexibilidad y optatividad con la que está programado el bachillerato actualmente, sin considerar bloques coherentes y obligatorios de asignaturas, hace que los alumnos puedan acceder a una titulación de ingeniería o de ciencias sin la formación adecuada en materias básicas para esas disciplinas. También hay que destacar el bajo porcentaje de alumnos que cursaron dibujo, si bien ésta es una situación que se ha presentado de forma habitual en la Ingeniería Agrícola, debido a que los alumnos podían acceder con formación propia de la ingeniería (con dibujo) o con formación propia de las carreras de ciencias y biosanitarias (con biología). Dado que la Ingeniería Agrícola aúna tanto ingeniería como sistemas biológicos, ambas materias son importantes para el correcto desarrollo de los estudios.

Tabla 4. Formación previa en asignaturas de Bachillerato con la que acceden al Grado los alumnos

	Matemáticas	Física	Química	Biología	Dibujo Técnico
Nº alumnos (%)	92	61	89	79	26

La información obtenida en este estudio podría ser tenida en consideración para incidir en los aspectos que influyen en la decisión del alumnado sobre qué grado cursar y también sobre las lagunas de conocimientos previos, con el objeto de reducir las tasas de abandono o las dificultades de los alumnos para progresar correctamente en sus estudios universitarios.

Conclusiones

En la Universidad de La Rioja se ofrece el Grado en Ingeniería Agrícola y el Grado en Enología. Ambas titulaciones comparten diversos elementos en común, que han sido aprovechados para plantear la posibilidad de que los alumnos que lo deseen obtengan los dos grados. Dicha opción es real y puede ser llevada a cabo en 6 años, manteniendo la estructura actual de las titulaciones y el rigor en la docencia y la formación de los alumnos. Esta oferta pone en valor las fortalezas de la UR y del entorno agrario y vitivinícola de la región y además sirve para diferenciar y hace más atrayente la titulación habilitante de Ingeniería Agrícola, y también la titulación de Enología.

Además, se ha obtenido información sobre los alumnos de nuevo ingreso, identificando los diversos aspectos que tuvieron en cuenta para elegir la titulación y también la formación previa recibida en bachillerato, lo cual puede servir para potenciar la captación de nuevos alumnos y mejorar su adaptación a los estudios universitarios.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con la financiación del Vicerrectorado de Profesorado, Planificación e Innovación Docente de la Universidad de La Rioja (proyecto APIDUR 2014-12).

Bibliografía

- ANECA, 2005. Libro blanco de los estudios de grado en ingenierías agrarias y en ingenierías forestales. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Madrid, España.
- Briassoulis, D., Gallego, E., Pantaleo, A.M., Holden, N.M., Owende, P., Ting, K.C., Mallikarjunan, K., 2014. The “threads” of biosystems engineering. *Trans. ASABE* 57, 307–330.
- Instituto de Estadística de La Rioja, 2015. Indicadores coyunturales: últimas cifras. Gobierno de La Rioja, <http://www.larioja.org/npRioja/default/defaultpage.jsp?idtab=784157>.
- Ministerio de Ciencia e Innovación, 2009. Orden CIN/323/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Agrícola. *Boletín Oficial del Estado* 19.02.2009, 17719–17723.
- Tadmor, Z., 2006. Redefining engineering disciplines for the twenty-first century. *The Bridge* 36, 33–37.
- Tascón, A., Álvarez, R., Aguado, P.J., 2014. Analysis of competencies required by agricultural engineering graduates. *Int. J. Eng. Educ.* 30, 1008–1022.
- UNESCO, 2010. *Engineering: Issues, Changes and Opportunities for Development*. UNESCO Publishing, París, Francia.
- Vest, C.M., 2006. Educating engineers for 2020 and beyond. *The Bridge* 36, 38–44.
- Young, R.E., 2006. Comparisons of “bio”-type engineering undergraduate curricula from agricultural, medical and chemical origins. *Int. J. Eng. Educ.* 22, 14–22.

IA07 - Análisis de la información relativa a programas de doctorado españoles en el área agroforestal mostrada en las webs.

García-Ventura, C.¹, Sánchez-Medina, A.², Ayuga-Téllez, E.²,

¹ Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040-Madrid. cgventural@gmail.com

² Buildings, Infrastructures and Projects for Rural and Environmental Engineering (BIPREE). Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040- Madrid. alvaro.sanchezdemedina@upm.es
esperanza.ayuga@upm.es

Resumen

Debido al notable incremento de oferta de programas de doctorado, no sólo en España, también en todo el EEES, las instituciones implicadas en estas enseñanzas señalan la calidad y la competencia entre ellas como dos de las diez cuestiones que más importancia tienen para ellos. Para fomentar el interés de los titulados universitarios por continuar sus estudios de formación accediendo al nivel de estudios de posgrado, sería necesario aumentar la visibilidad de la oferta y proporcionar datos de calidad, fácilmente accesibles y comparables de unas instituciones a otras que permitan el conocimiento en profundidad de los programas de doctorado. El objetivo de este trabajo es analizar la cantidad de información relativa a la calidad de programas de doctorado del área de ingeniería agroforestal incluida en sus páginas web. Se han revisado las webs de 35 programas con planes de estudios posteriores a 2011, y se han evaluado 45 ítems en cada una de ellas, relativos a la calidad de los recursos y de los resultados del programa, así como a algunos aspectos de gestión. La información ofrecida con más frecuencia es: criterios de admisión, perfil de ingreso y número de plazas ofertadas. Los programas incorporan entre 5 y 16 de los 45 ítems propuestos. Sólo en unas pocas se ofrece información sobre la calidad de las tesis finalizadas. Los diseños son poco atractivos y les falta mucha información relevante.

Palabras clave: formación superior, postgrado, indicios de calidad, acceso en red.

Analysis of the information about doctoral degrees presented in the Spanish universities websites.

Abstract

Due to the significant increase in the offer of doctoral programs, not only in Spain but throughout the EHEA, the institutions involved in these studies point out the quality and competitiveness are two of the more important ten questions for them. To promote the interest of graduates to continue their education after the graduate level, it would be necessary to improve the published information of the doctoral programs. It should increase the visibility and provide high-quality, easily accessible and comparable information which includes all the relevant aspects of these programs. The aim of this study is to analyse the web information available related to the quality of agroforestry doctorates. Webs of 35 doctoral degree programs, established in 2011, were reviewed. In each, 45 items related to quality of the resources, program results and related management have been analysed. The most common information found on these sites is: the admission criteria, admission requirements and the number of places available. Programs include between 5 and 16 of the proposed items. Only in some cases it is possible to find information about the quality of the complete doctoral thesis. Website design is not attractive and there are missing much relevant information.

Keywords: higher education, graduate, indications of quality, access network

Introducción y/o Justificación

Debido al notable incremento de oferta de programas de doctorado, no sólo en España, también en todo el EEES, las instituciones implicadas en estas enseñanzas señalan la competencia entre ellas como una de las diez cuestiones que más importancia tienen para ellos.

La globalización ha intensificado la competencia, como lo demuestra el número creciente de sistemas internacionales de clasificación (rankings) y la atención prestada a los mismos.

En el estudio realizado por la EUA se señala que el 38% de las instituciones la consideran la competitividad una cuestión relevante, mientras que la cuestión más seleccionada es la calidad del programa con un 60% (Surssock, y Smidt, 2010).

La creciente internacionalización dentro de las universidades, especialmente a nivel de doctorado, tiene también gran importancia. La formación doctoral tiene un carácter internacional, en sí misma. Se deben fomentar las oportunidades de los estudiantes de doctorado para participar de estos estudios a nivel internacional. Esto puede hacerse, por ejemplo, mediante un incremento de becas de movilidad internacional, la organización de talleres, conferencias y escuelas de verano, el desarrollo de más programas de doctorado conjuntos y la co-dirección de trabajos. El uso de las nuevas tecnologías, como teleconferencias o e-learning también debe utilizarse para fomentar la internacionalización de los programas de doctorado (Ayuga *et al.*, 2010).

Aunque los últimos datos indican una ligera disminución del número de estudiantes de doctorado en la Europa de los 27 países (4,18% entre 2011 y 2012), el porcentaje de éstos sobre el conjunto de estudiantes de tercer ciclo se mantiene más o menos estable. Según datos de Eurostat (Statistical Office of the European Communities, oficina europea de estadística) el porcentaje de estudiantes en titulaciones de Doctorado en los países de la Unión Europea (UE), frente al número total de estudiantes de tercer ciclo, es inferior al 10%. El porcentaje medio en la UE de los 27 fue de 2,78% en el periodo de años de 2000 a 2008, siendo inferior en USA y Japón.

En España, el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, (BOE, 2011) por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado, desarrolla el tercer ciclo de los estudios universitarios oficiales como elemento integrador del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y del Espacio Europeo de Investigación (EEI). Coincidiendo con esta reforma de las enseñanzas universitarias el número de estudiantes españoles decayó en 2012 en un 67,27% (valores calculados según los datos de Eurostat, <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>).

Es pronto para poder relacionar esta grave disminución de estudiantes con una causa concreta pero, por encima de circunstancias que escapan a los gestores universitarios, es muy importante que seamos conscientes del problema planteado y que se tomen medidas que hagan más atractivos los estudios de tercer grado a nuestros titulados universitarios, mejorando los programas, aumentando su internacionalización y preocupándonos de hacer más visibles los resultados –la calidad y la eficiencia deben ser medibles-. Para ello sería necesario aumentar la calidad de los medios que difunden la oferta de programas de posgrado y proporcionar datos fácilmente accesibles, que permitan el conocimiento en profundidad de las características, medios o recursos

disponibles y resultados visibles de formación de dichos programas de doctorado. A la expansión de la oferta y demanda de programas de posgrados se asocian altas tasas de deserción y, al intento de evaluarlas, ausencia de información válida y de confianza (Wainerman y Tuñón, 2013).

Desde esta perspectiva, resulta de gran interés ofrecer una información de calidad y que resulte comparable con la de otras instituciones, con el fin de facilitar a los interesados la elección de programa y universidad (Aguado *et al.*, 2011). Para ello es indispensable recurrir a los medios actuales de comunicación.

Una página web es, en esencia, una tarjeta de presentación digital, ya sea para empresas, organizaciones, personas, etc. Así mismo, la nueva tendencia orienta a que las páginas web no sean sólo atractivas para los internautas, sino también optimizadas para que sean rápidamente localizadas por buscadores a través del código fuente. Conseguir este doble propósito puede crear conflictos respecto de la calidad del contenido.

El objetivo del presente trabajo es analizar la cantidad de información relativa a los programas de doctorado del área de ingeniería agroforestal incluida en sus páginas web y evaluar éstas desde el punto de vista de su atractivo y facilidad de uso.

Material y Métodos

Los 35 títulos de los programas se buscaron en la página web del Ministerio de Educación.

Se accedió a todas y cada una de las páginas web de los programas y se efectuó un análisis de contenidos. Según Berelson (1942) el Análisis de Contenido es “una técnica de investigación para la descripción objetiva, sistemática y cuantitativa del contenido de la comunicación”. Por ello, la metodología empleada para el análisis de la información fue el análisis de contenidos. Ésta técnica de investigación permite formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su contexto (Krippendorff, 1997).

El análisis se centró en los contenidos recomendados por Aguado *et al.* (2011) para este tipo de páginas que incluye 35 ítems, combinándolos con otros aspectos evaluados por las agencias de acreditación españolas. En total se analizaron 45 ítems. La lista de contenidos fue la siguiente:

En cuanto a la accesibilidad del programa: número de plazas ofertadas, número de alumnos de nuevo ingreso, número de alumnos matriculados, criterios de admisión, perfil de ingreso y coste de la matrícula.

En cuanto a los medios utilizados en el programa, si existe información sobre los medios técnicos disponibles y sobre el profesorado, su número y si hay información sobre ellos, más allá de su nombre y correo electrónico.

En cuanto al programa en sí, los complementos de formación ofertados, las actividades obligatorias para los alumnos, las actividades optativas, el número máximo de ECTS a cursar y los idiomas en que se puede realizar el trabajo de tesis.

En cuanto a los resultados de la difusión de la actividad investigadora (formación en investigación, objetivo principal de estos programas) se reflejan en el número de

publicaciones relacionadas con las tesis desarrolladas e incluyen trabajos en revistas internacionales o nacionales con factor de impacto (FI), número de publicaciones en otras revistas internacionales y nacionales, comunicaciones presentadas en congresos, informes, capítulos de libros y libros completos.

La importancia de los resultados de la investigación puede evaluarse mediante el número de proyectos de investigación relacionados con las tesis doctorales y el número de alumnos becados, ambos contenidos incluidos en la lista.

Los resultados del programa y su eficacia se pueden comprobar contabilizando el número de tesis rechazadas en primera vuelta para su corrección, el número de tesis terminadas, las calificaciones de las tesis terminadas y el tiempo medio de realización de las tesis.

También se verificaron el número de idiomas en que se ofrece la información, el número de conferenciantes extranjeros, el número de evaluadores externos a la Universidad, el número de universidades participantes, españolas y extranjeras, así como el número de semanas de estancia en centros de investigación extranjeros durante el desarrollo de las tesis doctorales. Todos ellos, contenidos relacionados con la internacionalización de los programas.

Los contenidos relacionados con la calidad del programa que se verificaron fueron el número de menciones de Doctor Europeo o similares, las menciones de excelencia, el número de Premios Extraordinarios de Doctorado y de Tesis Doctorales, si existe mención de calidad, sistema interno de garantía de la calidad y buzón de sugerencias. Si se realizan encuestas de calidad a ingresados, realización de encuestas de satisfacción a egresados, datos sobre la orientación profesional del programa, el porcentaje de doctores egresados con empleo y el porcentaje de doctores egresados con trabajo en investigación y docencia.

Se visitaron todas las páginas web y se comprobó la presencia de los ítems anteriormente citados.

Además se evaluaron los tres puntos considerados más importantes cuando se plantea la difusión de los programas de doctorado en las páginas web de las universidades (Ayuga *et al.*, 2010), que son:

1.- Diseño. Sin duda, uno de los primeros aspectos que invita al usuario a permanecer en la página web y explorar su contenido es el atractivo de su diseño web y la consonancia en sus formas. Este es el factor más valorado por los internautas a la hora de decidir sobre la elección de un servicio a través de la web. Según un estudio de la Universidad de Stanford (Fogg *et al.*, 2002) un 44,1% de los encuestados respondieron que para que un sitio web ofrezca confianza, el aspecto externo es lo que más cuenta. Un bonito diseño da sensación de seguridad ya que parece que la página web ha sido más trabajada en todos los aspectos (diseño, seguridad, uso de nuevas técnicas, etc). Los autores del trabajo hemos valorado este aspectos en relación a la información ofrecida con puntuación de 1= "muy poco atractiva", 2= "poco atractiva" 3= "atractiva" y 4= "muy atractiva".

2.- Estructuración. Se refiere a la facilidad de uso y una estructura de la información apropiada. Es muy importante que el usuario encuentre un sitio web que satisfaga sus necesidades, ya que esa primera impresión marcará en gran medida que vuelva a

utilizarla. Es necesario que el diseño web se centre en los usuarios, para que estos puedan interactuar con los sitios web de la forma más fácil, cómoda e intuitiva posible. Para ello, el diseño de la web debe estar centrado fundamentalmente en el usuario y diseñado para él. En este caso, debemos suponer que el usuario es el titulado superior que busca información para decidir si continúa su formación como investigador, o bien, si está decidido, busca seleccionar el programa más apropiado para él. No se debe olvidar la internacionalidad de los programas y debemos pensar en un posible candidato de cualquier parte del mundo. Los autores del trabajo hemos valorado estos dos aspectos en relación a la información ofrecida con puntuación de (1= “muy mal estructurada”, 2= “mal estructurada” 3= “bien estructurada” y 4= “muy bien estructurada”).

3.- Accesibilidad. Facilidad para encontrarla con los buscadores. Sirve de muy poco contar con una web atractiva y bien diseñada, basada en las directrices actuales del diseño web, si no puede alcanzar buenas posiciones en los principales motores de búsqueda como Google. Se incorpora esta característica que se evalúa de tal forma que con el indicador de búsqueda “doctorado máster agrícola forestal” en Google, el programa aparezca entre los 5 primeros (valor 4), del 6º al 10º (valor 3), del 11º al 15º (valor 2) y por debajo del 15º (valor 1).

Resultados y Discusión

A continuación se exponen los resultados con gráficos de porcentajes para cada uno de los contenidos analizados, expresando los porcentajes de los programas que presentan cada uno de ellos por grupos temáticos: accesibilidad del programa, medios utilizados, programa en sí, resultados de la difusión de la actividad investigadora, importancia de los resultados de la investigación, resultados del programa y su eficacia, internacionalización del programa y calidad.

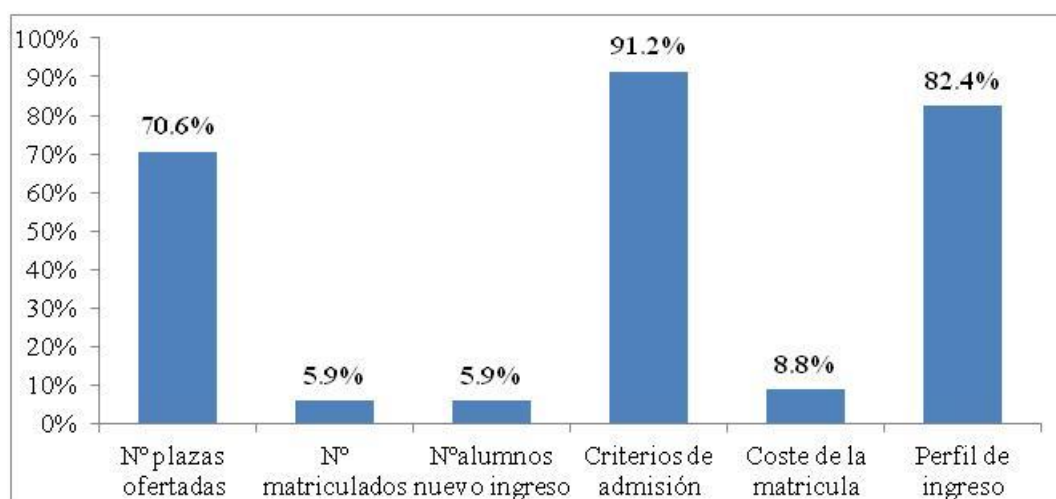


Figura 1. Accesibilidad

En relación a la accesibilidad del programa (Fig. 1), destaca el escaso número de programas que dan información sobre el número de alumnos matriculados y de nuevo ingreso (inferior al 6%). Esto indica que debe ser un factor problemático para las instituciones. También destaca que el coste de la matrícula aparezca en menos del 9% de las titulaciones, siendo éste un factor sensible para la elección del programa.

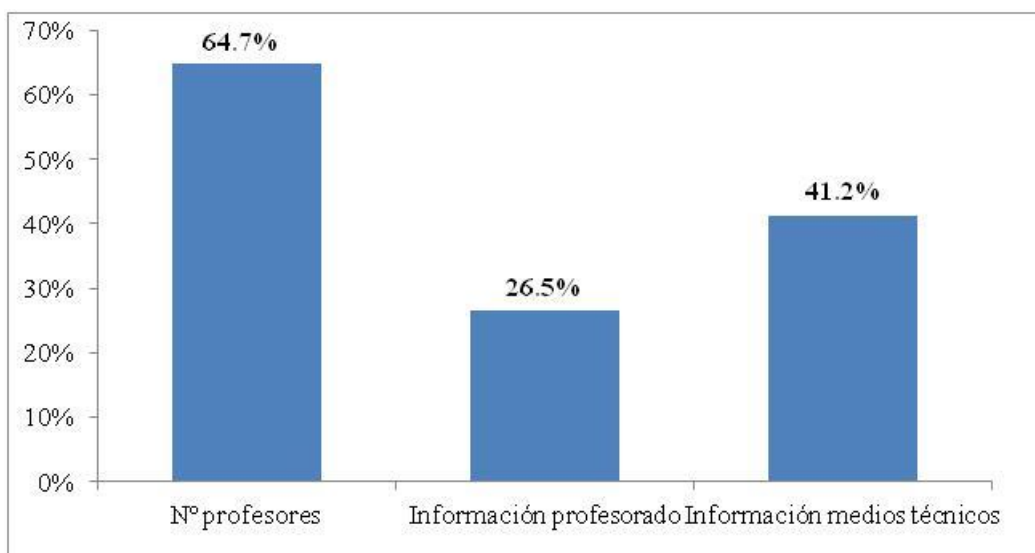


Figura 2. Medios utilizados

En cuanto a los medios utilizados en cada programa (Fig. 2), casi un 65% de las titulaciones ofrece información relativa al número de profesores, un 41,2% respecto a los medios técnicos disponibles y tan sólo el 26,5% ofrece información detallada acerca de los profesores del título.

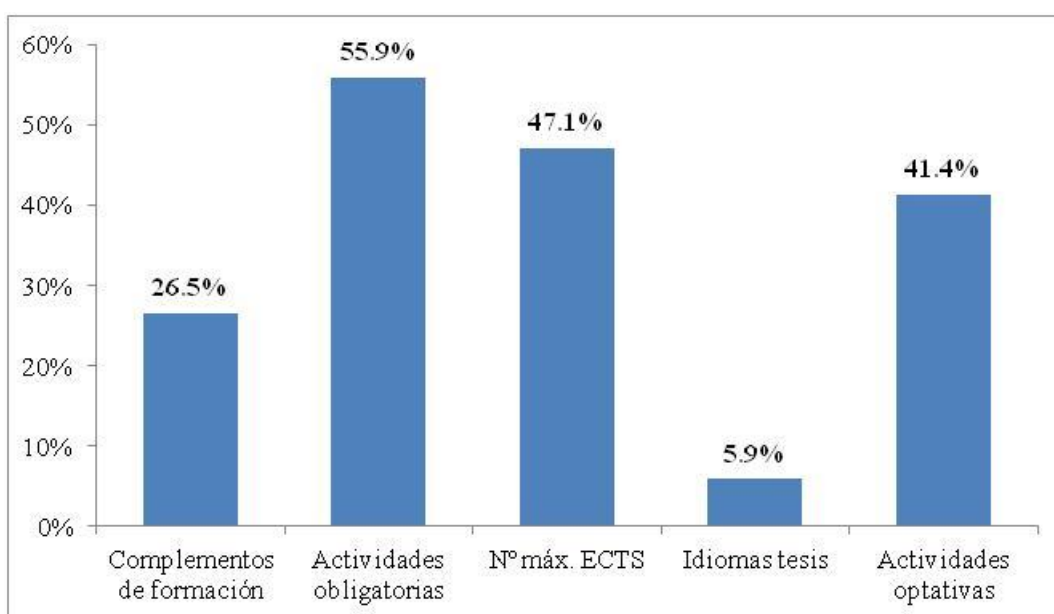


Figura 3. Programa

En relación al programa en sí (Fig.3), la información que más aparece es la relativa a las actividades, tanto obligatorias (aprox. 60%) y las optativas (sobre 41%) así como el número de ECTS a cursar (47%). Aun así sorprende que existan programas que no reflejen esta información en sus páginas. Los complementos de formación ofertados

aparecen en un 26,5% de las webs, siendo la información relativa a los idiomas en los que se puede realizar la tesis muy escasa (menos del 6% de los programas).

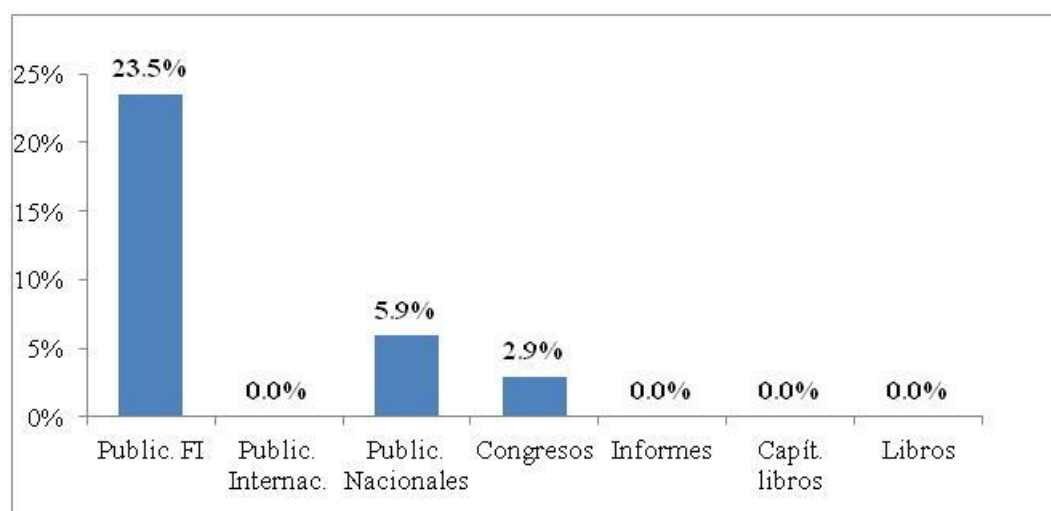


Figura 4. Resultados de la difusión de la actividad investigadora

En cuanto a los resultados de la difusión de la actividad investigadora (Fig. 4), es uno de los contenidos en los que la información es más escasa, siendo en la mayoría de los casos, inexistente. Tan sólo un 23,5% de los programas ofrecen información relativa a las publicaciones internacionales o nacionales con factor de impacto (FI), pero del resto de publicaciones no hay prácticamente información. Tan sólo un escaso 6% refleja las publicaciones nacionales (sin factor de impacto, FI) o las comunicaciones presentadas a congresos (3%).

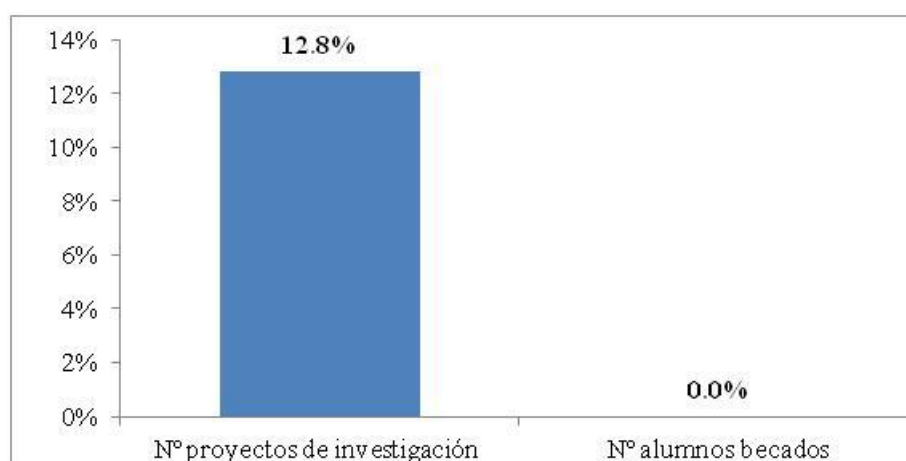


Figura 5. Importancia de los resultados de la investigación

De un modo similar, la importancia de los resultados de la investigación (Fig. 5) tiene una escasa visibilidad en los programas estudiados. Tan sólo el 12,82% muestra el

número de proyectos de investigación relacionados con las tesis doctorales, mientras que el número de alumnos que acceden a becas no aparece en ninguna de las páginas.

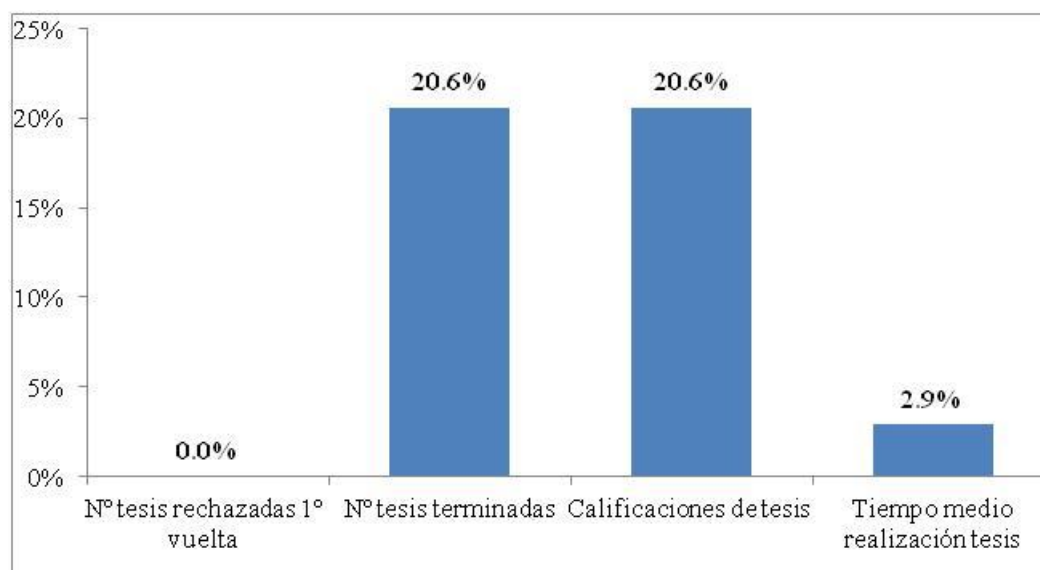


Figura 6. Resultados del Programa y Eficacia

En la Figura 6 se muestran los porcentajes relativos a la evaluación de los resultados del programa y su eficacia. En torno al 21% de los programas evaluados presentan información relativa a las tesis terminadas y sus calificaciones, muy pocas muestran el dato del tiempo medio de realización de la tesis (menos del 3%) y ninguna tiene información acerca del número de tesis rechazadas en primera vuelta para su corrección.

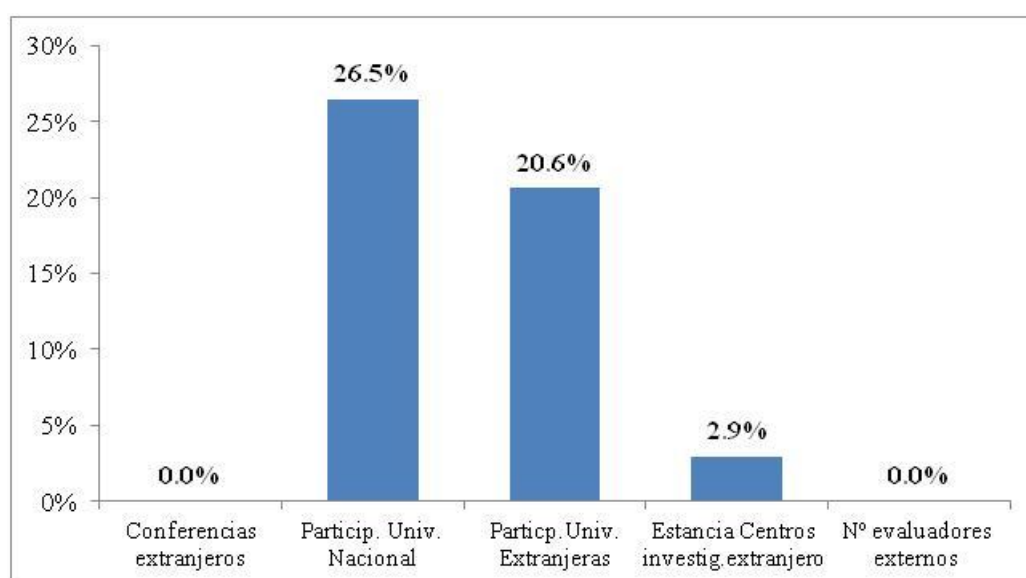


Figura 7. Internacionalización de los Programas

También es escasa la información disponible sobre Internacionalización de los Programas (Fig. 7), sobre todo en lo referente al número de semanas de estancia en centros de investigación extranjeros durante el desarrollo de las tesis doctorales (3%), o nula (número de conferenciantes extranjeros y número de evaluadores externos a la universidad). Aumentan algo los porcentajes relativos a las universidades participantes, tanto españolas (26,5%) como extranjeras (20,6%).

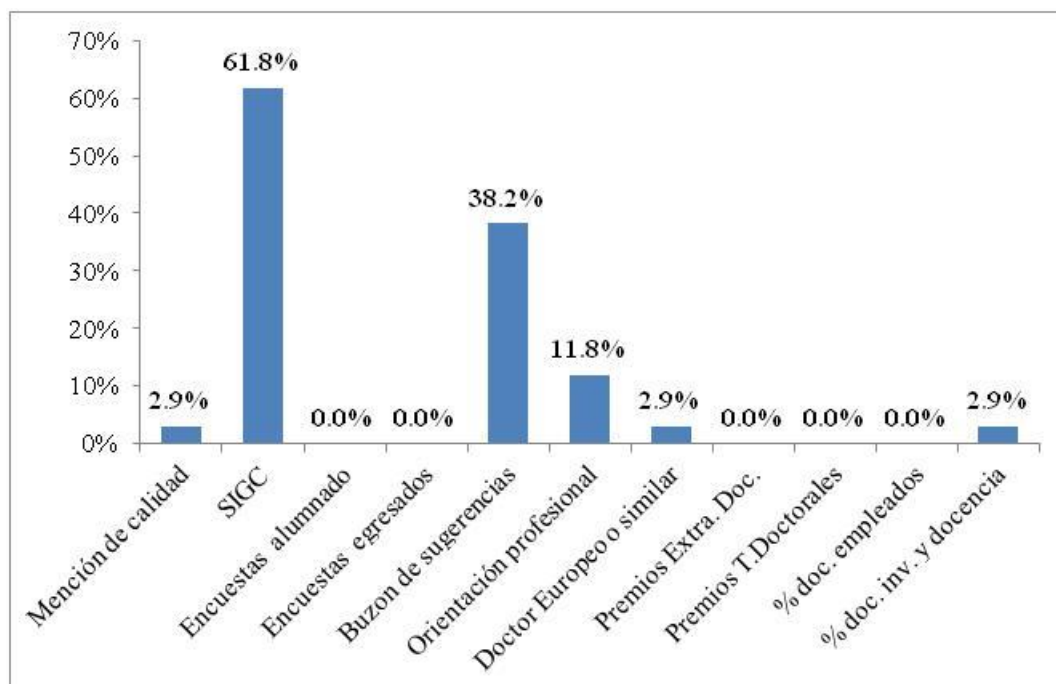


Figura 8. Calidad del Programa

En cuanto a la calidad, se han evaluado 13 ítems, de los cuales destaca claramente el relativo al sistema de garantía de calidad (SIGC), contenido que aparece en casi el 62% de los programas estudiados. Casi un 40% presenta buzón de sugerencias y cerca del 12% ofrecen información sobre la orientación profesional del programa. Con valores muy bajos, por debajo del 3% aparece la información relativa al número de menciones de doctor europeo o similar, el porcentaje de doctores egresados con trabajo en investigación y docencia y relativo a la mención de calidad. El resto de ítems evaluados, realización de encuestas al alumnado y a egresados, premios extraordinarios de doctorado, premios de tesis doctorales y el porcentaje de egresados con empleo (que no sea específicamente en investigación y docencia), no presentan ningún programa con información al respecto.

Por último, los resultados de los análisis relativos al Diseño, Estructuración y Accesibilidad de las webs estudiadas, se muestran en los siguientes diagramas de sectores (Fig. 9, 10 y 11).

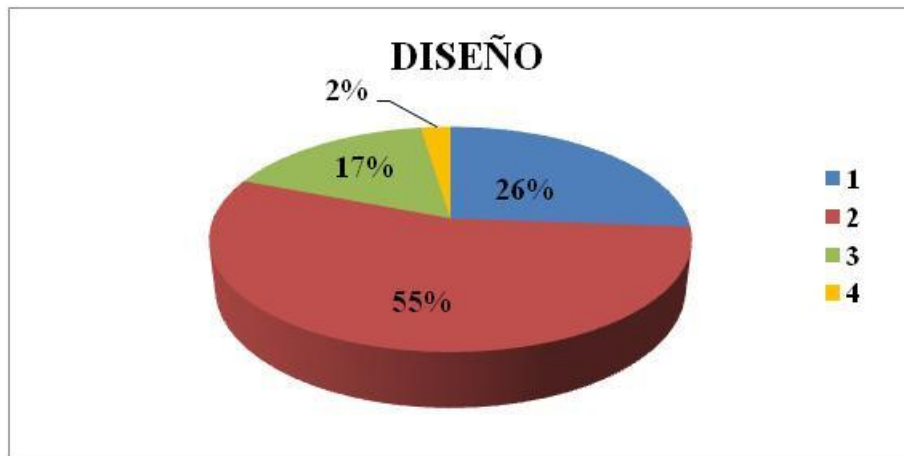


Figura 9. Porcentaje de webs según el atractivo de su diseño (1= “muy poco atractiva”, 2= “poco atractiva” 3= “atractiva” y 4= “muy atractiva”)

Los resultados del análisis del diseño, revelan que la mayoría de las webs tienen un diseño poco atractivo o muy poco atractivo (entre los dos aglutinan el 81% de las webs estudiadas). Tan sólo un 19% tienen una web atractiva o muy atractiva, lo que refleja que es un aspecto poco cuidado a la hora de difundir la información.



Figura10. Porcentaje de webs según la estructuración de su información (1= “muy mal estructurada”, 2= “mal estructurada” 3= “bien estructurada” y 4= “muy bien estructurada”)

En la Figura 10 se observa como hay una ligera mayoría del 57% de webs con la información bien o muy bien estructurada, mientras que el 43% la tiene mal o muy mal estructurada.

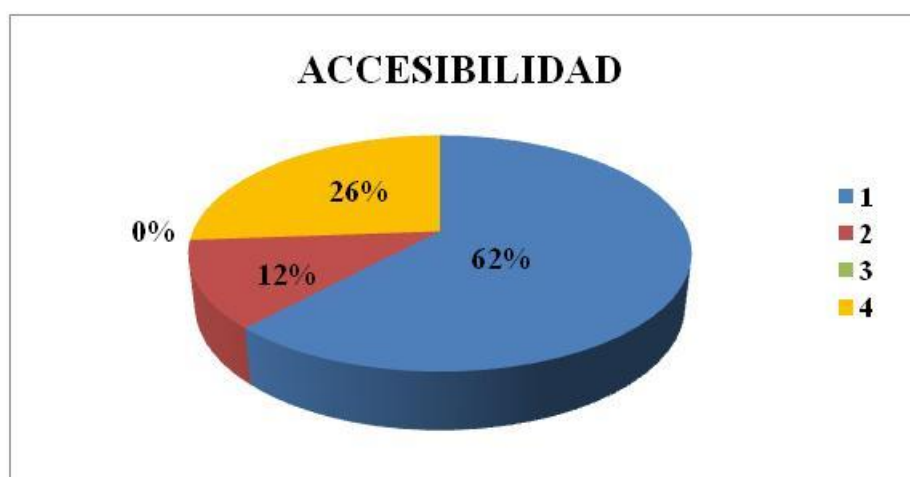


Figura11. Porcentaje de webs según la accesibilidad de su información

La Figura 11 indica que el 62% de las webs estudiadas aparecen por debajo de la posición 15º en los buscadores, un 12% aparecen entre el puesto 11º y 15º y el 26% restante aparecen entre las primeras 5 webs posicionadas.

Conclusiones

El presente trabajo revela cómo la información que aparece en las webs, acerca de los programas de doctorado, todavía es escasa. Aun así, hay ciertos aspectos que sí están bien cuidados a la hora de mostrar la información, principalmente en lo referente a los programas formativos en sí mismos, los medios utilizados y también en la accesibilidad a los mismos. Pero es escasa en todos los contenidos restantes, que se refieren básicamente a la calidad y la proyección, difusión o internacionalización de los programas. El motivo podría ser que son aspectos que las universidades no tienen interés en mostrar pues pueden limitar el acceso de alumnos a los programas. Convendría analizar en profundidad el verdadero motivo por el que no se incluye dicha información, ya que estos criterios presentan un gran interés para el desarrollo de un perfil profesional con mayor proyección internacional.

El presente trabajo puede ser un excelente punto de partida para poder mejorar estas carencias de información, o bien para focalizar los esfuerzos de los programas de doctorado en incidir en los contenidos menos frecuentes con objeto de alcanzar mejores parámetros de calidad, lo que sin duda redundará en un aumento del interés de los alumnos.

Por otro lado, los resultados sobre la difusión de los programas de doctorado en las webs de las universidades indican que, en líneas generales, la mayoría presentan una información clara y estructurada, pero que los resultados son menos positivos en lo referente a los diseños, que en general no son atractivos y con un posicionamiento web mejorable.

Bibliografía

- Aguado, P. y 16 autores más, 2011, Analysis of the information about doctoral degrees presented in the Spanish universities websites. Proceedings of the 15th WMSCI 2011, 391-394. Visto en http://oa.upm.es/12420/2/INVE_MEM_2011_104726.pdf el 25-3-2015.
- Ayuga-Téllez, E. et al., 2010, La Información en Red Relativa a los Títulos de Doctor de la Universidad Española. Memoria del proyecto del Programa de Estudios y Análisis del Ministerio de Educación y Ciencia. Visto en http://82.223.210.121/mec/ayudas/repositorio/20100728171851MEMORIA_EA2009_0031.pdf el 10-6-2011.
- Berelson, B., 1942. The Effects of Print upon Public Opinion. In D. Waples (Ed.), *Print Radio, and Film in a Democracy* Chicago: Univ. of Chicago.
- BOE, 2011. Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado. Visto en <http://www.boe.es/boe/dias/2011/02/10/pdfs/BOE-A-2011-2541.pdf> el 25-3-2015
- Fogg, B.J. y cinco autores más., 2002. How Do People Evaluate a Web Site's Credibility? Visto en <http://www.consumerwebwatch.org/pdfs/stanfordPTL.pdf> el 25-3-2015
- Krippendorff, K., 1997. *Metodología de análisis de contenido*. Teoría y práctica. Barcelona: Paidós comunicación.
- Sursock, A., Smidt, H., 2010. Trends 2010: a decade of change in European Higher Education. EUA Publications. Visto en http://www.eua.be/Libraries/Publications/Trends_2010.sflb.ashx el 2-6-2010.
- Wainerman, C., & Tuñón, C., 2013. La eficiencia de los programas doctorales y su evaluación. Revista Argentina de educación Superior, Año 5, 6, 167-188.

IA08 - 10 años de Huertos Ecológicos como actividad formativa integral en agronomía.

González Barragán, M.I.¹; Rodrigo Fernández, R.², Gutiérrez Martínez, P.³, Gómez Díez, A.⁴, Fradejas Sastre, J.L.⁵, Barrios Casado, A.⁶, Guerrero Fernández, I.⁷

INEA. Cno. Viejo de Simancas, km 4,5. 47008 Valladolid (España). ¹inea.isabel@gmail.com, ²ruben@inea.uva.es, ³pilar@inea.uva.es, ⁴inea.andres@gmail.com, ⁵laboratorio@inea.uva.es, ⁶abelbarrios@yahoo.es, ⁷inea.irene@gmail.com

Resumen

El Proyecto Huertos Ecológicos Urbanos se enmarca como una actividad formativa y recreativa para personas mayores, financiada por el Ayuntamiento de Valladolid y organizada por INEA. Pretende ser una opción más para el esparcimiento, el ocio, las relaciones humanas, el trabajo, la relación con la naturaleza, y el aprendizaje de las personas mayores que cumplan los requisitos de acceso a estos huertos. Como actividad formativa integral de la persona se enmarca perfectamente en lo que hoy se llama Universidad de la Experiencia, donde por un lado se ofrece a los mayores una oportunidad de aprendizaje y formación mediante el estudio, las charlas, la lectura y el trabajo manual; por otra se espera de su experiencia y sabiduría adquirida a lo largo de los años aportaciones que enriquezcan al conjunto de las personas y de la sociedad. Se han planteado desde el año 2005 un total de 430 huertos de ciento cinco metros cuadrados cada uno, con agua "a pie de parcela" y dotados de un cofre donde guardar sus aperos. Para el buen funcionamiento del proyecto se han establecido una serie de normas que los usuarios deben cumplir. Además siempre hay un equipo técnico que les ayuda y asesora para que en todo momento se cumplan los requerimientos de la agricultura ecológica. Como resultado, se ha conseguido un proyecto pionero en muchas cosas. El hecho de estar gestionado por una entidad privada (y sin ánimo de lucro) hace que el control sea mucho mayor: una finca cerrada, en el término de Valladolid y rodeada por el Pisuerga. Y que haya verdaderamente un proyecto común: formación, charlas, fiestas, mercadillo solidario, encuentros, "museo de productos hortícolas" y experiencias al alcance de la mano para los alumnos del Grado en Ingeniería Agrícola que imparte INEA.

Palabras clave: Innovación educativa, horticultura ecológica, jubilados.

10 years of eco-friendly allotment as comprehensive training activity in agronomy.

Abstract

The Ecological Allotments Project is framed as educational and recreational activities for retirees people. It was funded by the Local Government of Valladolid and organized by INEA (University School of Agricultural Engineering.) since 2005. The aim of this project is to provide a place for retirees leisure time, promote human relations based on respect of nature through learning the ecological treatment of these allotments. As an integral formative activity of the person fits perfectly into what is now called University of Experience. On the one hand, older people have the opportunity to learn and be trained through lectures, readings and work in their vegetable gardens. Furthermore (on the other hand), it is expected for their contribution from their experience and wisdom gained over the years to enrich the set of people and society. At INEA's smallholding are been cultivated 430 allotments each year. Each allotment has a hundred and five square meters, with water "on the plot" and endowed with a chest to store their tools. In addition there is always a technical team that helps and advises for that at all time the requirements of organic farming are met. As a result, a pioneering project has achieved many things. Being managed by a non-profit organization, as INEA is, makes several advantages such as better control of activities are available. The project is truly a global project: training, lectures, parties, charity market, meetings among senior citizens, "museum of horticultural products" and experiences to reach for the students of Agricultural Engineering Degree in Teaching INEA.

Keywords: Retired people, ecological horticulture, educational innovation.

Introducción y/o Justificación

Desde los inicios del pasado siglo XX muchos han sido los motivos que han llevado a promover los huertos urbanos en las ciudades. Los primeros aparecen en los años 20 como proyectos de huertos educativos en colegios y como complemento estético en las ciudades. (Pudup, 2008; Rudolf, 1992). La Gran Depresión en Estados Unidos (1930-1939) así como las Guerras Mundiales dieron lugar a diversos proyectos de emergencia y de cultivos asistenciales por la escasez de alimentos. Desde los años 70 han ido apareciendo programas de huertos comunitarios, promovidos, ya sea por movimientos sociales o por las Administraciones Locales con fines diversos (Alonzo, 2013; Brown y Carter, 2003; Crouch, 2000; Moskow, 1999; Alaimo *et al.*, 2010; Baker, 2004; Borelli, 2008; Corkery, 2004; Freidberg, 2001; Kingsley y Townsend, 2006; Kingsley *et al.*, 2009; Perkins y Lynn, 2000; Saldivar-Tanaka y Krasny, 2004; Trinh *et al.*, 2003).

En este sentido, las Naciones Unidas (FAO, 2010) manifiestan que los huertos urbanos ayudan a combatir el hambre, la pobreza, la explotación y la falta de esperanzas que pueden conducir a tasas elevadas de criminalidad, prostitución, falta de atención a los niños y el consumo de drogas. De la multitud de ejemplos que podemos encontrar a lo largo y ancho del planeta citamos dos: en el barrio de Mathare en Nairobi los jóvenes con antecedentes de robo se ganan dignamente la vida cultivando y vendiendo sus hortalizas; en Bogotá el programa de horticultura comunitaria integra a excombatientes, ancianos, reclusos, discapacitados y personas con VIH.

Es extensa la bibliografía que señala las zonas verdes y las plantaciones en las ciudades como espacios de ocio para los habitantes. Chen y Jim, 2008, señalaron que el 65,7% de los habitantes utilizan estos espacios de recreo y cómo los jóvenes entre 20 y 30 años son los que menos los utilizan. Además, el cultivo y la jardinería ofrece una actividad que evade a los urbanitas del sedentarismo y de las tensiones laborales de la ciudad (Orsini, 2013; Clayton, 2007). Así, en un estudio de Brown y Carter, 2003, llevado a cabo en Filadelfia, los usuarios de huertos comunitarios señalaron el entretenimiento como la principal razón para su cultivo (21%). Incluso muchos habitantes están motivados por aprender de cultivos y a cultivar (Alonzo, 2013).

La motivación desde INEA a la hora de llevar a cabo el Proyecto de Huertos Ecológicos Urbanos ha sido desde su origen el de promover el uso y disfrute del huerto ecológico desde su conocimiento, como un modo de innovación educativa y respeto sin olvidar la transversalidad de intereses mostrados por los potenciales usuarios de los mismos, las personas jubiladas de Valladolid. De este modo, se da respuesta a la inquietud con la que se encuentra un jubilado cuando empieza esa nueva etapa de su vida repleta de tiempo que llenar y aprovecharlo en una actividad distinta, formativa y enriquecedora de manera integral.

Material y Métodos

El “Proyecto Huertos Ecológicos Urbanos” de Valladolid es una actividad formativa y recreativa para personas mayores, financiada por el Ayuntamiento de Valladolid y organizada y desarrollada por INEA (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola). Desde el año 2005 se han creado un total de 430 huertos de ciento cinco metros cuadrados cada uno (figura 1). El primer año se comenzó con 250 huertos y en los dos años siguientes se ampliaron hasta los 430 huertos actuales. La inauguración

tuvo lugar en junio de 2005 y la campaña se convirtió en un éxito tanto de peticiones como de producción, hecho que animó a dar continuidad al proyecto hasta el día de hoy así como poner en marcha proyectos relacionados.

Todos los huertos disponen de agua, acceso directo a cada parcela, grupo de bombeo y están dotados de un cofre donde guardar los aperos, que cada hortelano recibe junto con una manguera en la concesión del huerto. Cada hortelano confecciona el huerto según sus capacidades, gustos o deseos. Con el paso del tiempo, el huerto refleja el carácter de cada hortelano, el orden y el desorden, la geometría, el tipo de productos y cultivos.

Este proyecto es el más grande de España y pionero en muchos aspectos. Estar gestionado por una entidad privada sin ánimo de lucro y en una finca cerrada supuso un mayor control sobre la gestión, así como una amplia variedad de actividades integrantes del proyecto.

Durante la campaña se ofrecen charlas interactivas quincenales formativas sobre riego, abonos, plagas y enfermedades y ahorro y eficiencia energética entre otras. Se reciben también visitas de grupos escolares, grupos de otros pueblos y Ayuntamientos. Además, como hecho innovador en este proceso educativo y formativo en horticultura ecológica, desde algunas asignaturas del Grado en Ingeniería Agrícola impartido en INEA se fomentan prácticas relacionadas con el “Proyecto de Huertos Ecológicos” con el fin de promover la interacción entre los jubilados y los universitarios, y el enriquecimiento mutuo de ambos: los conocimientos universitarios de los segundos y la experiencia vital de los primeros.

Además, para el buen funcionamiento del proyecto se establecen una serie de normas que los usuarios deben cumplir. Siempre hay un equipo técnico de 3 ó 4 personas que les ayudan y asesoran. La oficina de los huertos es el lugar de control de asistencia. Cada quince días reciben información escrita con consejos prácticos para el mejor cuidado del huerto y cumplimiento de las normas. Asimismo se dispone de un tablón con los horarios y consejos.

En marzo, se celebra la campaña de inauguración, dónde se adjudican los nuevos huertos. En mayo se celebra la fiesta de San Isidro Labrador con la bendición de los campos, una merienda y baile, y en verano, se celebran con amigos y familia, numerosas meriendas y cenas en la barbacoa y los jardines de INEA.

Cada temporada se cierra con un mercadillo ecológico solidario. Los hortelanos donan sus productos y su trabajo para el mercadillo y la recaudación del mismo (de un valor medio de unos 4000 euros cada campaña), se ha destinado a distintos proyectos solidarios. Cada año se van reponiendo, con las peticiones existentes en el Ayuntamiento las plazas vacantes por enfermedad, cambio de domicilio o fallecimiento.

De manera anual, mediante entrevistas personales se consulta a una muestra de hortelanos del Proyecto de Huertos Ecológicos Urbanos. En el siguiente apartado se muestra los resultados de la última campaña: 2013 – 2014. Para el análisis de las motivaciones de cultivar un huerto urbano en Valladolid se consultó a una muestra de 125 hortelanos de los Huertos Ecológicos que reunieran los siguientes requisitos: a) fueran jubilados y b) cultivaran un huerto en 2013. Se obtuvieron 122 respuestas

validas, de una población total de 400 hortelanos y para un nivel de confianza del 95% que representaban un error del 7,28%.

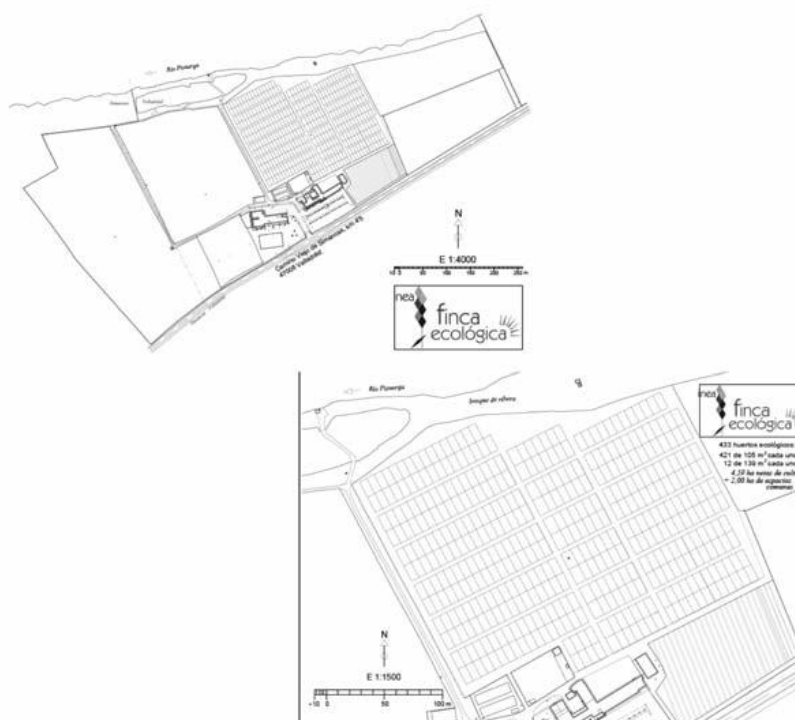


Figura 1. Plano de situación y de detalle de los 430 huertos cultivados en el proyecto Huertos Ecológicos en INEA (Valladolid)

Resultados y Discusión

El 67% de los hortelanos entrevistados tenía edades comprendidas entre 61 y 70 años. La mayoría conocieron los Huertos Ecológicos Urbanos a través de los medios de difusión de los Servicios Sociales del Ayuntamiento de Valladolid (52,45%) ya fueran anuncios en prensa, en el hogar del jubilado o directamente en el Ayuntamiento. Muy pocos lo conocieron a través de INEA (6,56%) y un 41% de ellos por recomendación de un amigo. Este hecho, pone de manifiesto la satisfacción de los hortelanos, que lo recomiendan a sus amigos y conocidos, siendo un óptimo barómetro para comprobar el éxito del proyecto. Otro hecho significativo es que la mayoría renuevan cada año su huerto. El 50% de los consultados llevaban más de 5 años cultivando el huerto.

Casi la mitad de los consultados contaban con estudios primarios, y un cuarto de ellos poseían estudios universitarios. Cerca del 60% provenían de poblaciones de menos de 5.000 habitantes de la provincia de Valladolid confirmando así la gran proporción de jubilados en la ciudad que han nacido y se han criado en el campo (Bueno, 2012). Además, el 57,38% de ellos manifestó haber cultivado con anterioridad en su pueblo y dos tercios de ellos poseían en la familia agricultores y cultivadores en las tres últimas generaciones. La mayoría procedía del sector terciario y de servicios, tenderos, hostelería y enseñanza, seguido del secundario, industria del automóvil, industrias de transformación y agroindustrias y tan solo un pequeño número procedía de la

agricultura. La mayoría fueron trabajadores por cuenta ajena aunque también existían empresarios (30,33%).

Tabla 1: Evolución del número de hortelanos, nuevas concesiones y el perfil de los cultivadores a lo largo del Proyecto “Huertos Ecológicos” de Valladolid.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Jubilados	250	250	430	430	430	430	430	400	400
Personal INEA	-	-	-	-	-	-	-	10	10
Formación empleo	-	-	-	-	-	-	-	5	5
Exclusión social	-	-	-	-	-	-	-	10	10
Niños	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Nuevas concesiones	250	82	76	44	35	45	52	22	16
Totales	250	317	430	430	430	430	430	430	430

Al igual que sucede en otras experiencias de huertos ocupacionales, en Valladolid los jubilados cultivan los huertos por ocio, seguido de motivos terapéuticos y para obtener alimentos. Este es otro punto innovador. Desde la búsqueda del ocio de los hortelanos se plantean algunas de las actividades formativas citadas en el apartado anterior. Otras motivaciones también manifestadas por los hortelanos jubilados de Valladolid coinciden con Gross y Lane, 2007, y Kiesling y Manning, 2010, que demostraron que el cultivo de huertos se debía a: antídoto del estrés cotidiano, identidad y propiedad, un espacio para crear relaciones sociales, lugar de recreo con familiares y amigos y donde entablar conexiones con otros hortelanos y cuestión de salud mental y física.

El trabajo además confirma que la relación e implicación de los hortelanos depende de sus características sociales y demográficas (Comstock *et al.*, 2010). Se confirma que en el caso del Proyecto de Valladolid la procedencia y el sector de actividad condicionan los motivos de cada hortelano para cultivar el huerto. A partir de la caracterización de los hortelanos realizada en este trabajo se propone organizar las parcelas en torno a sus motivaciones, origen y ocupación anterior. Esta organización permitirá racionalizar las acciones, permitiendo diferentes grados de atención según las expectativas de cada uno. Para los que proceden de la ciudad se incrementará la atención social y se hará especial hincapié en las actividades que permitan la relación con otros hortelanos. Para los hortelanos del sector secundario se hará especial atención en las prácticas culturales del cultivo, usos del suelo, morfología del cultivo, patologías y su relación con el medio. Para los hortelanos que proceden de zonas rurales que cultivan por nostalgia se promoverán los cultivos y prácticas tradicionales, sesiones histórico-culturales, gastronómicas, exposiciones que permitan intercambiar conocimientos y experiencias.

Aprender a cultivar sólo es una motivación inicial para el 44,26% (tabla 2) de los hortelanos, pero se constata año a año que la asistencia a las charlas programadas, así como el uso de la biblioteca y el aula de informática de la Escuela Universitaria, va creciendo a lo largo de la campaña. Las motivaciones principales de los jubilados al

adquirir el huerto, como se aprecia en la tabla 2, son el ocio, mantenerse activo-saludable, y la seguridad alimentaria propia. Desde los organizadores del proyecto, se busca que los jubilados se impliquen con un modelo de cultivo ecológico y sostenible. *A priori* ambos intereses parecen divergir, pero a lo largo de las campañas, se constata como existe un creciente interés por el conocimiento de las plantas, tratamientos ecológicos de plagas y ahorro energético entre otras.

Tabla 2: Frecuencias relativas (%) de las motivaciones iniciales de los hortelanos jubilados de Valladolid para cultivar un huerto urbano.

Motivaciones	Respuestas	
	Sí	No
Ocio	99,18	0,82
Mantener actividad-salud	98,36	1,64
Seguridad alimentaria propia	94,26	5,74
Socializar	90,16	9,84
Ayuda alimentaria a hijos	59,02	40,98
Curiosidad	50,82	49,18
Compartir con amigos	47,54	52,46
Aprender a cultivar	44,26	55,74
Nostalgia	30,33	69,67
Contacto naturaleza	9,84	90,16

Debido al éxito del Proyecto de Huertos Ecológicos Urbanos, desde el año 2014, el Ayuntamiento de Valladolid, en colaboración con INEA, promueve un programa encaminado a habilitar 200 huertos ecológicos para su explotación por personas desempleadas y huertos de explotación comunitaria, situados en diversas localizaciones de la ciudad. Además (tabla 1) desde el año 2013 se ha llevado a cabo un proyecto de “huertos para niños”. Estos huertos se ofrecieron a niños, de entre 8 y 15 años, de padres extranjeros en riesgo de exclusión, los cuales se comprometían a colaborar “a las órdenes” de sus hijos. De esta manera, las familias que se multiplicaron por dos en el segundo año, obtenían un ingreso alimenticio importante dada su situación económica.

Conclusiones

El éxito del programa Huertos Ecológicos Urbanos está probado por, i) el número de años continuados de proyecto (10 años), ii) el número de hortelanos (430) y el volumen de productos, iii) el número de nuevas solicitudes recibidas, que aumentan cada año, iv) la recomendación de la actividad por los hortelanos a sus amigos y conocidos (41%), v) la alta participación de los hortelanos en las actividades innovadoras organizadas (91,8%), vi) las solicitudes de renovación año tras año (96,72%), vii) el número de años continuados que un hortelano lleva cultivando su parcela (5-8), y que confirman el grado de satisfacción de los hortelanos por el programa.

Sin embargo, la coyuntura política, económica y social cambiante podría comprometer la continuidad de los huertos urbanos ecológicos formativos actuales. En este sentido sería necesario plantear posibles alternativas. Podría plantearse la explotación

comercial y económica de los huertos para que puedan llegar a ser sostenibles y que parte de los beneficios reviertan en los gastos del uso del suelo, insumos, asesoría, organización y gestión de los mismos. En este sentido se podría plantear un sistema de cooperativa entre los hortelanos en que una parte de los productos de su parcela sean destinados a cubrir los gastos generados, en forma de retornos cooperativos. El destino de estos productos frescos y saludables podrían ser colegios, comedores, institutos, centros de personas mayores y hospitales de las administraciones promotoras de los proyectos, cerrando el ciclo de aprovisionamiento institucional según los productos obtenidos a lo largo de la campana agrícola. Otro eslabón de la cadena que se podría satisfacer serían restaurantes y tiendas de *delicatessen* que demandan productos saludables con alto valor añadido a kilometro cero. Se aprovecharía la proximidad a la ciudad y se cultivarían productos saludables de alto valor añadido con menos costes de transacción, transporte y distribución. La producción de los huertos deberá organizarse en este sentido y deberían analizarse las posibilidades comerciales de los productos orientando la producción al consumo y a las exigencias y diseñando una alternativa y rotación adecuada de cultivos. Las administraciones deben además promover la horticultura ecológica urbana con su incorporación a los diseños curriculares y que analicen las ventajas e inconvenientes reales de estas prácticas. Para ello se deberá contar con expertos multidisciplinares en contaminación, suelos, agua, ecólogos, planificadores y sociólogos ya que es todavía muy alto el potencial por abordar. En este sentido es necesario incorporar además las prácticas de horticultura urbana en los planes de uso del suelo de la ciudad.

Bibliografía

- Alaimo, K., Reischl, T.M., y Allen, J.O., 2010. Community gardening, neighbourhood meetings, and social capital. *Journal of Community Psychology* 38: p. 497–514.
- Alonzo, C., 2013. Urban Orchard Stewardship: Volunteer and Manager Perspectives. Master Thesis of Environmental Studies. Evergreen: Ed. The Evergreen State College. 81 pp.
- Baker, L., 2004. Tending cultural landscapes and food citizenship in Toronto's community gardens. *Geographical Review*, 94: p. 305–325.
- Borrelli, D.A., 2008. Filling the void: applying a place-based ethic to community gardens. *Vermont Journal of Environmental Law*, 9: p. 271–277.
- Brown, H.K., y Carter, A., 2003. Urban Agriculture and Community Food Security in the United States: Farming from the City Center to the Urban Fringe. Venice, California: Ed. Community Food Security Coalition. 32pp.
- Bueno, M., 2012. Manual Práctico de Huerto Ecológico. Navarra: Ed. La Fertilidad de la Tierra, Agricultura Ecológica. 322 pp.
- Chen, Y., y Jim, C.Y., 2008. Cost–benefit analysis of the leisure value of urban greening in the new Chinese city of Zhuhai. *Cities*, 25(5): p. 298–309.
- Clayton, S., 2007. Domesticated nature: motivations for gardening and perceptions of environmental impact. *Journal of Environmental Psychology*, 27: p. 215–224.
- Comstock, N., Miriam Dickinson, L., Marshall, J.A., Soobader, M.J., Turbin, M.S., Buchenau, M., Litt, J.S., 2010. Neighborhood attachment and its correlates: Exploring neighborhood conditions, collective efficacy, and gardening. *Journal of Environmental Psychology*, 30: p. 435–442.
- Corkery, L., 2004. Community gardens as a platform for education for sustainability. *Australian Journal of Environmental Education*, 20: p. 61–75.
- Crouch, D., 2000. Reinventing allotments for the twenty-first century: the UK experience. *Acta Horticulturae*, 523: p. 135–142.

- FAO. 2010. Crear ciudades mas verdes. Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura urbana y Periurbana. Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion.
- Freidberg, S.E., 2001. Gardening on the edge: the social conditions of unsustainability on an African urban periphery. *Annals of the Association of American Geographers*, 91: p. 349–369.
- Gross, H., Lane, N., 2007. Landscapes of the lifespan: Exploring accounts of own gardens and gardening. *Journal of Environmental Psychology*, 37: p. 225–241.
- Kiesling, F.M., Manning, C.M., 2010. How green is your thumb? Environmental gardening identity and ecological gardening practices. *Journal of Environmental Psychology*, 30: p. 315–327.
- Kingsley, J., Townsend, M., Henderson-Wilson, C., 2009. Cultivating health and wellbeing: members' perceptions of the health benefits of a Port Melbourne community garden. *Leisure Studies*, 28: p. 207–219.
- Kingsley, J., y Townsend, M., 2006. 'Dig in' to social capital: community gardens as mechanisms for growing urban social connectedness. *Urban Policy & Research*, 24: p. 525–537.
- Moskow, A., 1999. Havana's self-provision gardens. *Environment & Urbanization*, 11: p. 127–134.
- Orsini, S., 2013. Landscape polarisation, hobby farmers and a valuable hill in Tuscany: understanding landscape dynamics in a peri-urban context. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 113(1): p. 53–64.
- Perkins, S., Lynn, R., 2000. A women's community garden: a small step towards a future of peace?. *Women Against Violence Journal*, 9: p. 74–83.
- Pudup, M. B., 2008. It takes a garden: Cultivating citizen-subjects in Organized Garden Project. *Geoforum*, 39: p. 1228–1240.
- Rudolf, W., 1992. De la Canalizacion subterranea al Reverdecimiento aereo. Madrid: Agricultura, Revista Agropecuaria, 2: p. 1024-1028.
- Saldivar-Tanaka, L., Krasny, M., 2004. Culturing community development, neighbourhood open space, and civic agriculture: the case of Latino community gardens in New York City. *Agriculture & Human Values*, 21: p. 399–412.
- Trinh, L., Watson, J., Hue, N., De, N., Minh, N., Chu, P., Sthapit, B., Eyzaguirre, P., 2003. Agrobiodiversity conservation and development in Vietnamese home gardens. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97: p. 317–344.

IA09 - Utilización de la herramienta AVIP integrada en Moodle

Castro, R.¹ y Calvo, L.F.²

¹ Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, dpto. Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad de León. Av. Portugal nº 41, 24071, León, mail: mrcasa@unileon.es

² Dpto. Química y Física Aplicadas. Ingeniería Química. Universidad de León, mail: lfcald@unileon.es

Resumen

Se cuenta en la Universidad de León (ULE) con la posibilidad de utilizar la herramienta AVIP desarrollada por la UNED e integrada como módulo de Moodle, plataforma utilizada como Aula Virtual institucional y externa de la ULE. En los últimos años académicos se han realizado diferentes tipos de experiencias: Utilización de la herramienta AVIP para la docencia, mediante su uso en seminarios de expertos; Realización de tutorías grupales (profesor-alumnos); Una experiencia piloto de defensa de trabajos con el objetivo de comprobar su utilidad en el futuro para realizar la defensa de Trabajos Fin de Master y/o Trabajos Fin de Grado. Tras las experiencias realizadas, se han propuesto unas encuestas de satisfacción, tanto para el profesorado participante como para el alumnado, que permitieron: (1) Analizar los aspectos técnicos, cuáles son correctos y cuáles mejorables, proponiendo su solución. Se concluyó que se precisan medios técnicos de calidad: auriculares con micrófono incorporado, micrófono portátil, altavoces externos y PC-tablet con pantalla digital. (2) Conocer la adecuación de esta herramienta según su utilización, así se pudo establecer en qué circunstancias puede estar recomendada. Entre las conclusiones obtenidas se tiene que, se puede utilizar para la participación de expertos en sesiones puntuales, de menor duración que las sesiones convencionales. (3) Conocer la aceptación entre los diferentes participantes (alumnos, profesor, ponente, miembros de tribunales...). Se concluyó que se trata de una herramienta bien aceptada entre los intervinientes en las distintas experiencias por el ahorro de tiempo que supone frente a los desplazamientos, pero en ningún caso supera a la calidad didáctica que supone la presencialidad.

Palabras clave: Webconferencias, seminarios, tutorías, defensa de trabajos.

Utilization of the tool AVIP integrated to Moodle.

Abstract

The University of León (ULE) has the possibility of using the AVIP tool. Designed by the UNED, this tool is integrated within the Moodle platform, a tool used as an institutional and external Virtual Classroom of this university. In the last academic years there have been different kinds of experiences: Using AVIP tool for teaching assignments, specifically for the development of expert seminars; Performing group tutorial sessions (teacher-pupil); A pilot experience about the defence of certain projects with the aim of testing its usefulness in the future in the defence of PhD final work and / or the work order degree. After the experiences, different satisfaction surveys have been proposed to obtain the views of the participants about the following aspects: (1) To analyze the technical aspects, which are right and which can be improved, proposing a solution. It was concluded that quality technical means are required: headphones with integrated microphone, portable microphone, external speakers and a laptop or tablet with digital screen. (2) To know this tool's adequacy according to its use, so it could be established under what circumstances it can be recommended. Among the obtained conclusions it has been found that it can be used to the experts' participations in exceptional sessions, with less duration than the conventional ones. (3) To know the acceptance among the different participants (students, teacher, lecturer, members of the collegiate tribunal...). It was concluded that it is a well-accepted tool among the participants in the different experiences due to the save of time it implies in contrast to the displacements, but in any case it has more didactic quality than face-to-face classes.

Keywords: Web conferencing, seminars, tutorial class, final woks defense.

Introducción, Justificación y Objetivos.

Las nuevas tecnologías proporcionan herramientas muy adecuadas para el aprendizaje, tanto en horas presenciales como en horas en las que el alumno está fuera del aula. Asimismo es posible desarrollar nuevos métodos docentes más eficientes y por qué no más confortables de tal forma que el alumno sea el gestor de su tiempo recibiendo la docencia cuando y donde quiera.

En este sentido en la Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria (ESTIA), perteneciente a la Universidad de León (ULE), se han venido desarrollando durante los últimos años académicos unas experiencias con material docente en formato video, estas experiencias que se denominaron de teleformación, consistían en que un grupo de alumnos de una asignatura recibían la docencia de un determinado módulo de la misma en formato video al que accedían desde el Aula Virtual de la asignatura.

Dado el éxito de estas experiencias en las que se comprobó que los resultados académicos no variaban entre los alumnos de teleformación y los presenciales y que el grado de satisfacción por parte de los alumnos era elevado, siempre y cuando se escogiera bien la parte de la materia a impartir mediante esta metodología, se pretendió dar un paso más en el concepto de teleformación y se pensó en la posibilidad de realizar webconferencias para la impartición de determinadas partes de las asignaturas, de tal forma que el “experto” en directo y sin necesidad de desplazarse, impartiera una sesión a alumnos que estuvieran en un aula tradicional, de ahí surgieron el primer grupo de experiencias que se han realizado a lo largo de los últimos cursos académicos con diferentes asignaturas y diferentes ponentes, para las que se presentan los resultados obtenidos.

Por otra parte y en un intento de poder cerrar todo el ciclo de enseñanza-aprendizaje se realizaron también y de forma puntual, experiencias de tutorías on-line, con resultados dispares.

Por último se está pensando en utilizar esta herramienta para la defensa de Trabajos Fin de Grado (TFG) y Trabajos Fin de Máster (TFM) cuando las circunstancias particulares de los alumnos impidan la asistencia presencial a la defensa. Este problema nos ha surgido en la ESTIA a raíz de tener alumnos en los cursos de adaptación que proceden de diferentes partes de España, así como alumnos en los másteres que vienen con becas por un tiempo concreto que no siempre es suficiente para poder realizar la defensa del TFM, así se ha realizado una experiencia piloto para comprobar si esta herramienta puede solucionar el problema de forma ágil y eficaz.

Tras la realización de las experiencias y mediante encuestas de satisfacción, las preguntas que se pretendían responder eran:

1. Qué aspectos técnicos son mejorables según la experiencia de la que se trate.
2. Es adecuada esta herramienta para las experiencias realizadas ó qué circunstancias son las óptimas en las que esta herramienta puede estar recomendada.
3. Existe una buena aceptación de esta herramienta entre los diferentes intervinientes en las experiencias (profesor, alumno, ponente, miembro tribunal...).

Material y Métodos

La herramienta utilizada ha sido AVIP (*Herramienta AudioVisual sobre tecnología IP*) que es una herramienta docente síncrona que proporciona la denominada "*presencialidad virtual*". Consiste en que desde cualquier punto se puede acceder a las actividades presenciales de cualquier otro punto como si se estuviera allí.

Entre los servicios que ofrece la plataforma AVIP están las Aulas AVIP de Webconferencia que utilizan el software "Conferencia Online", que permite realizar webconferencia con roles diferenciados (moderador, presentador e invitado).

Este tipo de Aula AVIP es la que concretamente se ha utilizado en nuestras experiencias, que funciona exclusivamente a través de Internet y el equipo necesario ha sido:

Para el ponente de la experiencia: Ordenador conectado a Internet, webcam y auriculares con micrófono (recomendado).

Para el oyente de la experiencia: Ordenador conectado a Internet, altavoces conectados al ordenador y, excepto para las tutorías, video proyector para proyectar en una pantalla la imagen que a través del ordenador se recibía.

Se debe resaltar que según el tipo de experiencia de la que se tratase el papel de ponente y oyente cambiaban, así:

El Ponente es el profesor si la experiencia era impartir una sesión magistral y el alumno si la experiencia era defender el trabajo y ambos si la experiencia eran las tutorías.

El Oyente es el alumno si la experiencia era impartir una sesión magistral y el profesor, miembro del tribunal, si la experiencia era defender el trabajo y ambos si la experiencia eran las tutorías.

Experiencia tipo 1: Seminario de expertos.

El objetivo es poder realizar sesiones puntuales para la docencia de determinadas partes de la materia, pudiéndose así contar con especialistas, evitándose los desplazamientos de éstos. Así la conferencia on line era recibida en un aula de la ESTIA de la Universidad de León (ULE). En esta aula se encontraban los alumnos acompañados por otro profesor con el fin de iniciar la conexión, presentar al ponente y servir en todo caso de apoyo técnico, no académico.

Los alumnos veían las presentaciones de forma tradicional a través del video proyector y escuchaban las explicaciones a través de los altavoces conectados al PC, sin profesor presente (Figura 1).

Los alumnos podían ver en la pantalla y a través del video proyector, al ponente que les estaba hablando y además, los documentos que el profesor estimara oportunos en formato pdf, ppt, jpg, doc...y una "pizarra blanca" sobre la que el ponente podía escribir...

Las sesiones pueden ser grabadas y después puestas a disposición de los alumnos en el aula virtual para su visionado en diferido.



Figura 30. Aula donde los alumnos estaban recibiendo el seminario impartido por el experto de forma on line

Experiencia tipo 2: Tutorías virtuales.

El objetivo era poder realizar tutorías virtuales y así las opciones que se nos plantearon fueron:

Opción 1: de forma grupal (profesor-varios alumnos) para dudas comunes, los alumnos podrían estar:

- En un espacio común, a priori se suponía que no sería lo más lógico si lo que se quiere es la no presencialidad y evitar el desplazamiento del alumno para realizar la tutoría.
- En espacios diferentes, es decir, cada uno con su ordenador (conexión a internet), micrófono y auriculares y webcam, en este caso lo más efectivo era que los alumnos fueran pidiendo la palabra de tal forma que el profesor-moderador les daba el rol de profesor uno por uno a cada alumno para plantear la pregunta, y el resto de participantes pudieran escuchar y ver tanto al alumno que preguntaba como al profesor que respondía.

Opción 2: de forma individual (profesor-alumno) para dudas concretas.

Cualquiera de las dos opciones se pueden diseñar y gestionar desde Moodle y dentro de las mismas asignaturas como si una actividad fuera, teniendo en cuenta que desde hace un tiempo en la ULE la herramienta AVIP está implementada en Moodle (aula virtual institucional) simplemente con “crear una sala” un día a una hora en concreto, se pueden conectar cuántos alumnos estén en esa asignatura y el moderador haya invitado (Figura 2)



Figura 31. Interface de edición de ajustes de la sala AVIP desde Moodle y aspecto de cómo se visualiza desde la asignatura en Moodle

Las opciones de diseño y ajuste de la sala de conferencia on line desde moodle son amplias. Se puede diseñar una sesión puntual (fecha y hora concretas) o sesiones

periódicas diarias, semanales, mensuales a determinada hora y en cualquier caso con la duración que se desee.



Figura 32. Pantalla del ordenador en diferentes momentos: en la izquierda, tutoría virtual grupal en un espacio común y en la derecha, tutoría virtual individual

Por otra parte se puede invitar a todos los alumnos de la asignatura, a grupos distintos dentro de la asignatura o a alguno en particular (Figura 3).

Experiencia tipo 3: Defensa de Trabajos.

El objetivo es poder comprobar si se puede realizar la defensa de Trabajos Fin de Grado y/o Máster con esta herramienta. La experiencia *piloto* realizada estaba el alumno que iba a defender su trabajo se encontraba en su despacho y en una sala con un portátil y el video proyector se reunió al tribunal evaluador, la diferencia para el tribunal con respecto al formato tradicional es que no tenía al alumno en esa misma sala pero sí podía verle a través de la pantalla, asimismo podía ver la presentación que el mismo alumno había preparado para la defensa de su trabajo (Figura 4).

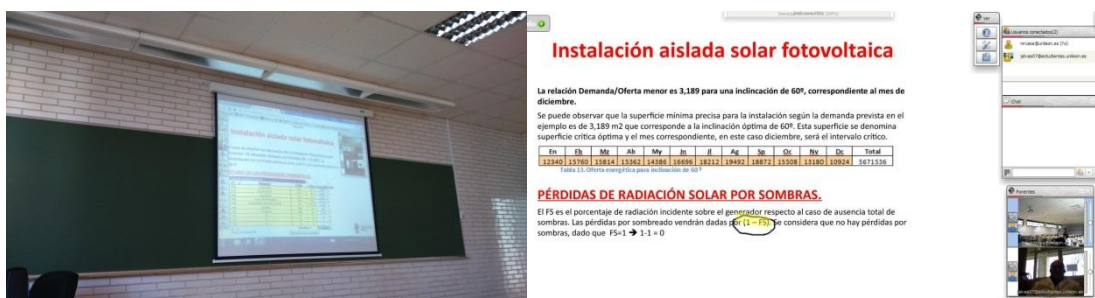


Figura 33. Izquierda: imagen de la sala donde estaba reunido el tribunal evaluador. Derecha: imagen del alumno exponiendo y de su presentación.

La sesión de defensa fue grabada y así se puede tener archivada la exposición del alumno y el debate posterior en formato mp4 y mp3 de tal forma que puede servir de prueba en caso de reclamaciones.

Se hace notar que con esta experiencia piloto se pretendía comprobar la viabilidad de su utilización en la próxima convocatoria de TFM de julio de 2015, con un número mayor de usuarios, y así poder tener resultados más significativos.

Resultados y Discusión

Se presentan a continuación los resultados de las encuestas de satisfacción realizadas a los intervinientes de las distintas experiencias. Un grupo de preguntas iban encaminadas a conocer aspectos técnicos de la experiencia para proceder a su mejora en la medida de lo posible.

Otro grupo de preguntas se realizaban para conocer la adecuación de la herramienta según el tipo de experiencia y así determinar en qué circunstancias es recomendable su uso.

Con preguntas abiertas se pretendía detectar el grado de aceptación de la herramienta por parte de los usuarios.

Experiencia tipo 1: Seminario de expertos.

En base a 49 votos emitidos los aspectos técnicos evaluados fueron tales como la visualización, el sonido, así como el tiempo de ejecución, se pueden observar que tanto en la visualización como en el sonido la nota alcanzada fue de un notable (Figura 5).

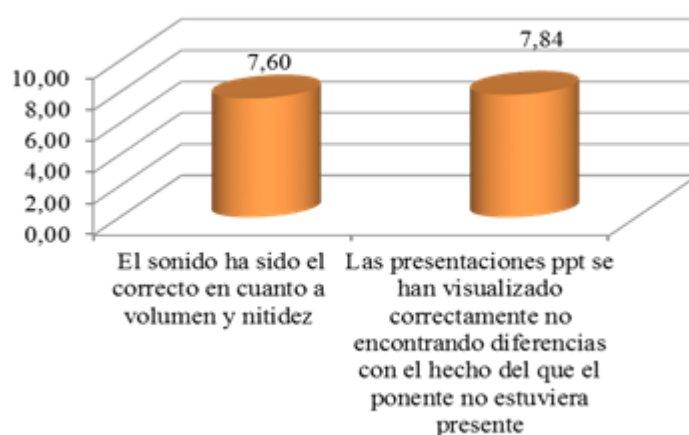


Figura 34. Nota obtenida en aspectos técnicos de la experiencia: seminario de expertos on line

Para el tiempo de ejecución se proponían cuatro opciones y el resultado con un 56% de los votos fue de sesiones de 30 minutos, más cortas que las tradicionales (Figura 6):

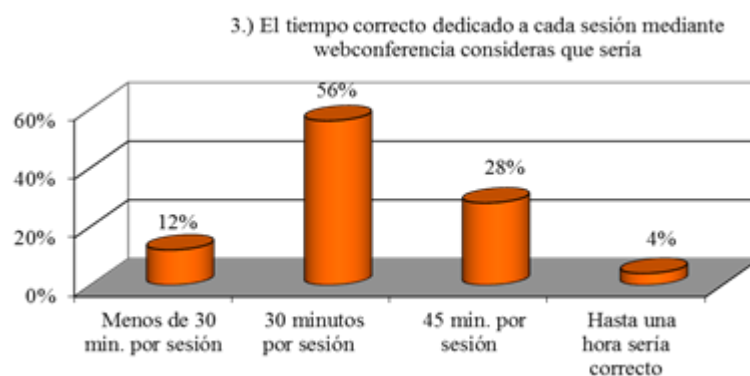


Figura 35. Resultados en cuanto a la duración correcta de la sesión: seminario de expertos on line

Para conocer la adecuación de la herramienta para esta experiencia en concreto se preguntó por tres aspectos: la dificultad o no en la toma de apuntes, en mantener la atención y en la comprensión de la materia. Los resultados fueron:

Algo más difícil que la metodología tradicional para la toma de apuntes con un 68%. Para mantener la atención y la comprensión de la materia aunque la mayoría respondieron que igual que en la clase tradicional, 40% y 56% respectivamente, se puede observar que hay un mayor reparto en las respuestas (Figura 7).

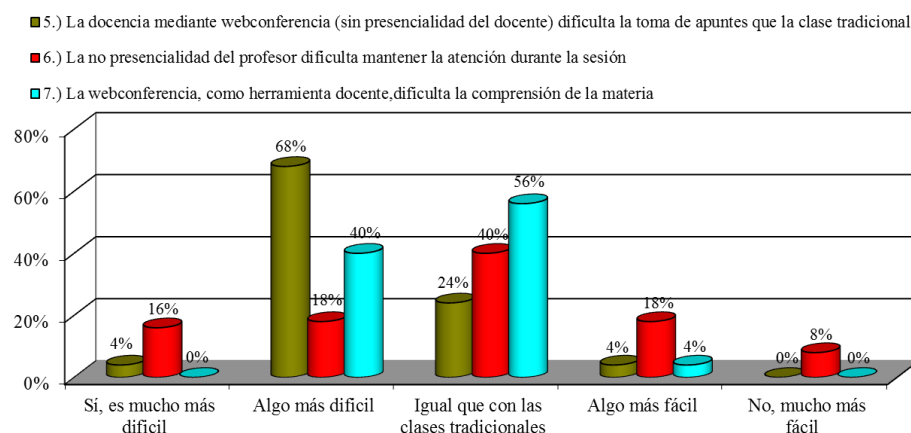


Figura 36. Resultados en cuanto a la adecuación de la herramienta: seminarios de expertos on line

Para detectar la aceptación de esta herramienta para docencia, se formuló a los alumnos, a modo de pregunta, si elegirían este método frente al formato tradicional, se ve claramente que la mayoría lo elegirían solo para determinadas partes de la asignatura (64%) (Figura 8).

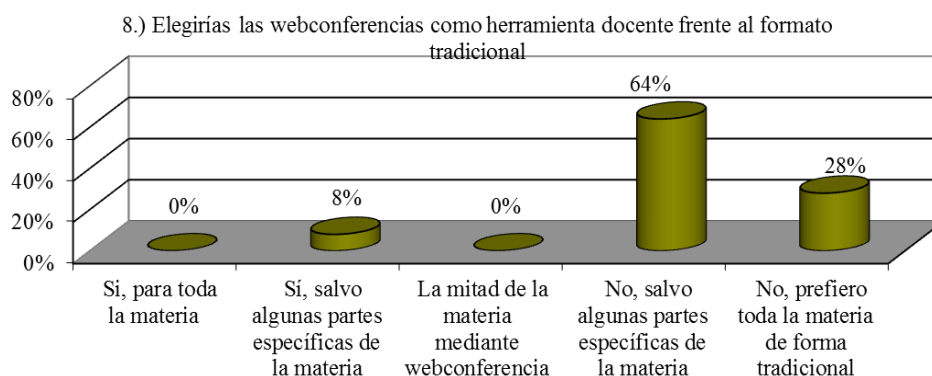


Figura 37. Resultados en cuanto a la aceptación de la herramienta: seminario de expertos on line

Experiencia tipo 2: Tutorías virtuales.

Se muestran los resultados obtenidos en base a 5 votos de alumnos y 1 del profesor participante en la experiencia. Los aspectos técnicos evaluados fueron tales como la calidad del sonido y la correcta comunicación profesor-alumno, y por otro lado la corrección en la visualización de la pizarra digital (para los alumnos) y el manejo de la misma (sencillo e intuitivo) para el profesor (Figura 9).

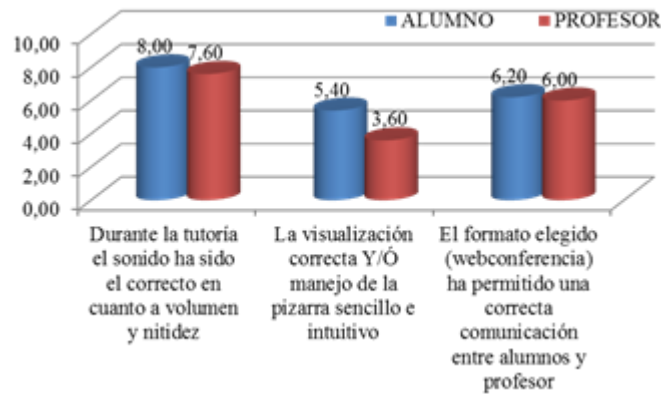


Figura 38. Nota obtenida (sobre 10) en aspectos técnicos: tutoría on line

En cuanto a los resultados se ve como el sonido fue correcto (notable) tanto para alumnos como para profesor. En la comunicación se obtienen valores de sólo de aprobado. Esto es debido a que el manejo de la pizarra por parte del profesor no fue sencilla (valorado con un 3,6), lo que conlleva también a que la valoración de la visualización por parte del alumno baje a valores de 5,4.

Se concluye fácilmente que se precisarían herramientas tipo PC-tablet a utilizar por el profesor para facilitar la escritura digital ya que con el ratón en un PC convencional se hace difícil.

Para conocer la adecuación de la herramienta para esta experiencia se preguntó al alumno por: la dificultad o no en mantener la atención y en comprender la explicación del profesor, los resultados fueron (Figura 10): igual que con las tutorías presenciales para ambos casos con unos resultados de 61% para mantener la atención y 46% para la comprensión, como se puede ver mucho más repartido en el segundo caso.

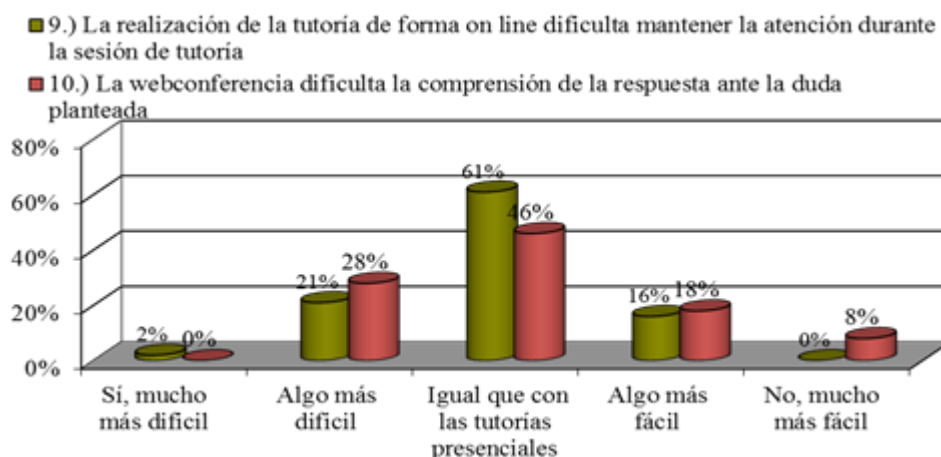


Figura 39. Resultados en cuanto a la adecuación de la herramienta: tutoría on line

Para detectar la aceptación de esta herramienta se realizaron dos preguntas, si elegirían este formato virtual frente al presencial o este formato virtual versus tutorías vía mail, teléfono...

- 11.) Elegirías las webconferencias como herramienta para la realización de tutorías frente al formato presencial
- 12.) Elegirías las webconferencias como herramienta para la realización de tutorías frente al formato vía mail, ó teléfono

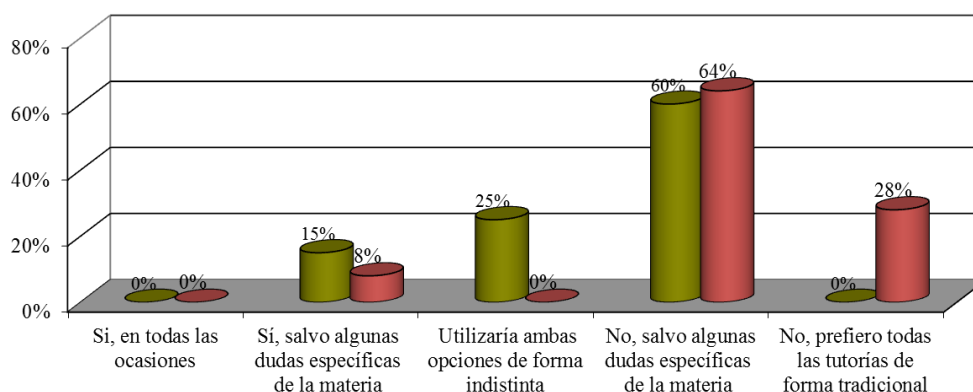


Figura 40. Resultados en cuanto a la aceptación de la herramienta: tutoría on line

Se puede observar (Figura 11) que con un resultado de un 60% y un 64% prefieren el formato tradicional. Se hace necesario comentar que de los dos formatos tradicionales propuestos el que eligen es vía mail o telefónica (28% no lo cambiaría por las tutorías on line) lo que hace pensar que la tutoría virtual sí puede llegar a ser competencia de las presenciales pero no tanto de las tutorías vía mail y/o teléfono.

Experiencia tipo 3: Defensa de trabajos.

En base a las valoraciones del alumno que defiende el trabajo y de los miembros del tribunal evaluador los aspectos técnicos evaluados fueron para el tribunal (Figura 12) la calidad del sonido en y la correcta visualización y para el alumno (Figura 13) un aspecto nuevo que es la preparación previa de la sesión y el manejo de las presentaciones en la herramienta por parte del alumno, pues es él el que en esta experiencia ejerce la labor de ponente.

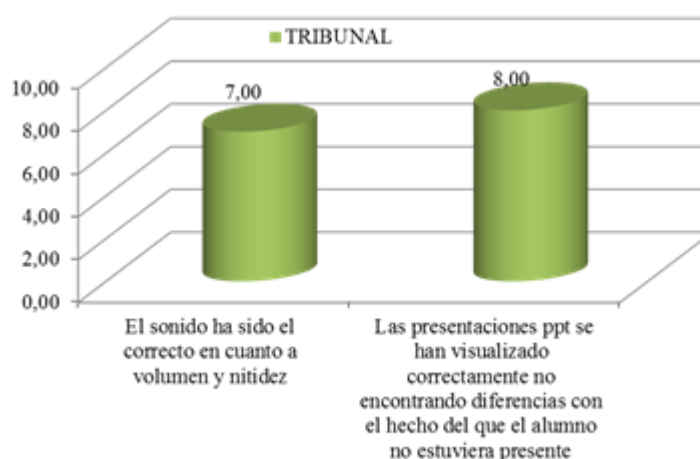


Figura 41. Nota obtenida (sobre 10) en aspectos técnicos: defensa trabajos on line (tribunal)

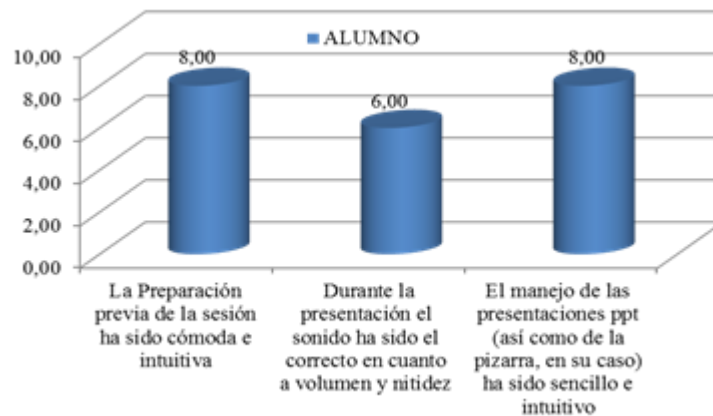


Figura 42. Nota obtenida (sobre 10) en aspectos técnicos: defensa trabajos on line (alumno)

En cuanto a los resultados se ve como el sonido fue correcto (notable, 7,0) para los profesores del tribunal pero un poco más bajo (suficiente, 6,0) para el alumno, este hecho es debido a que el micrófono del tribunal era el propio del PC y esto hacía que no estuviera próximo, se recomienda la utilización en este tipo de experiencias de micrófonos externos al ordenador que puedan ser portátiles y utilizados por cada uno de los miembros del tribunal de forma individual.

Como se puede observar el resto de cuestiones obtuvieron valoraciones de notable alto, lo que significa que: para el alumno fue sencillo e intuitivo la preparación previa de la sesión y durante la misma el manejo de las presentaciones no tuvo dificultad añadida. Por parte del tribunal la visualización de las presentaciones fue correcta, al igual que si hubiera sido una defensa presencial.

Para conocer la adecuación de la herramienta para esta experiencia se preguntó tanto al alumno como al tribunal las mismas preguntas: “Te has sentido cómodo en tu capacidad de comunicación y expresión” y “el formato elegido (webconferencia) ha permitido un correcto debate posterior entre alumno y tribunal” en ambos casos la valoración fue correcta, con calificaciones de 8 sobre 10.

Al tribunal se le plantearon dos cuestiones más para comprobar si la NO presencialidad del alumno suponía dificultad en mantener la *atención* durante la exposición y dificultad en la *comprensión* del alumno, los resultados fueron que, con este tipo de herramienta la atención se ve seriamente dificultada, no así la comprensión de las explicaciones del ponente que se mantiene en los niveles de los métodos tradicionales (Figura 14).



Figura 43. Resultados en cuanto a la adecuación de la herramienta: defensa trabajos on line

Para detectar la aceptación de esta herramienta se realizaron preguntas abiertas del tipo ventajas e inconvenientes de esta herramienta en este tipo de utilización y las respuestas en cuanto a las ventajas fueron unánimes, tanto para alumno como para miembros del tribunal: esta herramienta evita los desplazamientos de tal forma que el tiempo empleado a la defensa de trabajos se reduce al mero acto académico, evitando desplazamientos con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

En cuanto a los inconvenientes fueron sobre todo por parte del tribunal, ya que hay que tener en cuenta que al menos un miembro del mismo se ha de encargar de la preparación técnica de la sesión, creación de sala, invitar a los participantes, cargar documentos a presentar... que en sesiones tradicionales no sería necesario.

Conclusiones

En cuanto a la valoración de los aspectos técnicos se puede concluir que:

La calidad del sonido depende de las herramientas técnicas utilizadas. Para el ponente es recomendable la utilización de auriculares con micrófono, y para el oyente es recomendable un micrófono portátil y no el del PC, para el turno de preguntas.

La visualización de las presentaciones y el manejo de la herramienta en sí no reviste dificultad ni para el ponente ni para el oyente excepto cuando se trata de resolución de dudas (tutorías), en las que la utilización de la pizarra digital es mayor y la escritura digital con ratón no es ágil. Falta experiencia en el docente y se recomendaría la utilización de un PC-tablet con pantalla digital.

En cuanto a la adecuación de la herramienta para las experiencias en estudio se ha visto que:

La toma de apuntes (en el caso de docencia), mantener la atención y la comprensión del oyente (en todos los casos) es, según la experiencia estudiada, “igual a la presencial” y/o “algo más difícil”. No es un resultado rotundamente negativo pero si nos indicaría que por una parte, falta experiencia en el ponente (velocidad al hablar y entonaciones diferentes, recursos didácticos ó expositivos distintos...) y por otra parte, el tiempo de

las sesiones, sea cual sea la experiencia estudiada, ha de ser menor que con métodos presenciales.

En cuanto a la aceptación de esta herramienta entre los participantes en las experiencias se ha visto que:

En general es bien aceptada, tanto por parte del participante que hace de ponente como por el participante que hace de oyente. La causa es obviamente por el ahorro de tiempo (y dinero) que supone el no realizar desplazamientos, sin embargo según en qué modalidad, se hace referencia al empleo del tiempo extra necesario para la preparación técnica de las sesiones, debido en muchos casos a la no cotidianidad en su utilización, así como a la incertidumbre que produce el hecho de que se depende de la calidad de la conexión a internet (se recomienda que sea vía cable y no vía wi-fi).

Bibliografía

VEGA NÚÑEZ, J., 2008. Grabación Conferencia on-Line (En diferido). [Página web]. Universidad Nacional de Educación a Distancia, INTECCA. 15 jul. 2008, [accedida 27/3/2015]. Disponible en:
https://www.intecca.uned.es/portalavip/grabacion.php?ID_Grabacion=52828&ID_Sala=3&hashData=6cf78e22c47ea2240cc17331db51c894¶msToCheck=SURfR3JhYmFjaW9uLEIEX1NhbGEs

IA10 - Desarrollo de competencias. Caso práctico: estudiantes voluntarios en congreso científico.

Moya-González, A.¹; Correa, E.C.¹, Pérez, S.², Grijalvo, I.², Ruiz-Altisent, M.¹,

¹ LPF-TAGRALIA, Departamento de Ingeniería Agroforestal, ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Complutense s/n, Madrid. adolfo.moya@upm.es. ² Estudiante ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

El desarrollo de competencias transversales en un entorno de trabajo potencia las capacidades de integración de los estudiantes en el mundo laboral. El presente trabajo describe la experiencia de colaboración de estudiantes voluntarios en el pasado Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas celebrado en Madrid en el año 2013. El equipo de 15 voluntarios, compuesto por estudiantes procedentes de estudios de grado, ingenierías, máster y doctorado, desarrolló múltiples funciones de apoyo a la organización. Las funciones realizadas por los voluntarios supusieron una experiencia de aprendizaje activo en la que éstos pudieron desarrollar competencias relevantes para su futura vida laboral. Se proponen diversas competencias extraídas de las especificadas por la ETSI Agrónomos de la UPM para la evaluación de prácticas en empresa de sus estudiantes; en el RD 1393/2007, que establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales; en el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior (MECES) y el Marco Europeo (EQF); y las establecidas por organizaciones como las sociedades europea y Americana para la formación de ingenieros (SEFI y ABET), relacionando las funciones llevadas a cabo por los voluntarios con las competencias desarrolladas. Finalmente se evalúa el desarrollo de estas competencias mediante la información recabada dentro del plan de calidad del congreso y que comprende la autoevaluación de los voluntarios junto con diversas encuestas de valoración de resultados y satisfacción completadas, tanto por parte de los asistentes como de los moderadores de sesiones durante el congreso.

Palabras clave: Aprendizaje activo, empleabilidad, trabajo en equipo, experiencia laboral, formación superior

Skills development. Case study: student volunteers in scientific congress.

Abstract

The objective of University study is to develop technical as well as professional and personal skills to the students, to enhance their employability. One way to develop general competences and personal skills is to include students in special professional activities, with well-designed work programs. This study describes the collaborative experience of a group of students who volunteered to assist in the 2013 Congress of the Spanish and Portuguese National Societies of Agro-Engineering and of Horticultural Sciences in Madrid (Spain). The fifteen students were pre-graduates and Graduates, engaged in Master's and PhD programs in the Department, and they carried out multiple functions in support to the organization. The activities in which they engaged showed a positive training experience, in which students were able to develop relevant competences for their professional development. First, a study of the most accepted generic competences (also called personal, or transversal) from the most used sources was carried out: the official Decree RD 1393/2007, the UPM Agricultural, Food and Environmental degrees, the Qualification Framework (MECES), SEFI, ABET, and others. From there, a list of competences and skills was established, to be introduced into the programmed Congress students activities, as well as in monitoring systems for their evaluation. This evaluation was based on auto-evaluation and on results and satisfaction surveys applied to the attendants and organizing body.

Keywords: Active learning, employability, teamwork, professional experience, higher education

Justificación

El parcial desajuste entre las competencias efectivamente adquiridas por los estudiantes durante su educación universitaria y las demandadas por el mercado laboral es uno de los aspectos tratados por el informe del Observatorio de Innovación en el Empleo (OIE, 2014) sobre jóvenes y mercado laboral. El OIE es una entidad sin ánimo de lucro constituida por grandes empresas con el objetivo común de mejorar la situación del empleo. El mencionado informe identifica la demanda de competencias y capacidades por parte de las empresas, las expectativas de los estudiantes y los niveles de competencia adquiridos durante su formación, revelando importantes diferencias en algunos aspectos. La ABET (2014), Perdigones et al. (2014), Barreiro (2010) que refiere al Marco Europeo de Competencias (EQF), así como el Marco Español MECES (2014), refieren las competencias exigidas: además de las de nivel (para los ocho niveles establecidos), las transversales asociadas a los mismos, y éstas inciden en muy similares capacidades transversales y personales, para el diseño, evaluación y acreditación de titulaciones de ingeniería. Tascón et al. 2013 evalúan las competencias que denominan generales por medio de encuesta a egresados, con resultados similares. Por tanto, básicamente, las competencias desarrolladas en el presente trabajo están en correspondencia con la mayoría de las reflejadas por parte de los organismos de educación consultados. Asimismo, se destaca la necesidad de potenciar la integración del mundo laboral en los programas de estudios mediante aprendizaje en el trabajo (*on - the-job learning*) y otras actividades (Barreiro 2010).

Según refleja el informe OIE, las cinco demandas principales planteadas por las empresas son, por orden de importancia: la motivación, la capacidad de trabajar en equipo, los idiomas, la iniciativa y la capacidad de resolución de problemas y conflictos. El informe del OIE cuantifica la divergencia entre lo que las empresas demandan y lo que los estudiantes esperan, así como sus capacidades efectivas, adquiridas durante su formación, mediante un GAP o diferencia entre la valoración de las capacidades demandadas y las de las expectativas de los estudiantes o la valoración de estas capacidades por parte de las empresas contratantes. La Tabla 1 refleja las seis capacidades con mayor divergencia negativa, es decir las más infravaloradas por parte de los estudiantes y en las que se aprecia un mayor déficit de formación por parte de las empresas.

La organización del VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas celebrado en Madrid en el año 2013 contó con un equipo de 15 voluntarios. El grupo de voluntarios fue seleccionado entre estudiantes de distintas titulaciones impartidas en las escuelas donde se llevó a cabo el congreso, contando también con un estudiante de grado realizando una estancia de movilidad internacional procedente de Brasil, la Gestora del grupo de investigación LPF-TAGRALIA y un Doctor, Profesor de Universidad en Chile y antiguo miembro del grupo de investigación. La distribución de los voluntarios según los estudios cursados o actividad profesional realizada se representa en la Tabla 2.

Las funciones desarrolladas por los voluntarios comprendieron la planificación de las tareas a realizar durante el congreso, la elaboración de un plan de emergencia, la traducción de documentos, la instalación y puesta en marcha de las tabletas del congreso, su distribución y asesoramiento a todos los participantes, la colaboración en

las tareas de registro, la organización y soporte de cada una de las sesiones y la planificación, recogida y tratamiento de datos para el plan de calidad del congreso. La ejecución coordinada de todas estas tareas supone una experiencia práctica en la que se demuestra que los estudiantes desarrollar competencias relevantes para su futura vida laboral.

Tabla 1 Capacidades con mayor diferencial (GAP) entre la demanda de las empresas, las expectativas de los estudiantes y su formación. Adaptado de (OIE, 2014).

Demandas de las empresas	GAP con las expectativas de los universitarios	Demandas de las empresas	GAP con la formación de los universitarios
Motivación, disposición	-24	Gestión del estrés	-16
Trabajo en equipo	-11	Habilidades directivas	-16
Gestión del tiempo	-7	Idiomas	-14
Experiencia práctica	-6	Capacidad de negociación	-12
Gestión del estrés	-5	Hablar en público	-11
Comunicación con clientes y compañeros	-5	Experiencia práctica	-6

El objetivo de este estudio es analizar una aplicación de un programa de desarrollo y evaluación de ciertas competencias transversales, consistente en la participación de estudiantes en un programa de actividades profesionales con potencial para desarrollar capacidades de los alumnos especialmente demandadas por el mercado laboral.

Tabla 2 Composición de los voluntarios participantes en el VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas según su dedicación a la fecha de celebración del Congreso.

Dedicación	Número
Nuevos grados	5
Ingeniero Agrónomo	3
Ingeniero Técnico Agrícola	2
Doctorado en Ingeniería Rural	2
Máster en Agroingeniería	1
Profesor Doctor	1
Gestora Grupo de Investigación	1
TOTAL	15

Material y Métodos

El Congreso se celebró del 26 al 29 de agosto de 2013, contando con 260 asistentes, se celebraron 36 sesiones, localizadas tanto en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSIA) como en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (EUITA). El número medio de asistentes a las sesiones durante todo el congreso resultó de 172,2 personas.

Durante los tres meses anteriores al congreso se mantuvo reuniones con los voluntarios, en las que se realizó de forma colaborativa la programación de las actividades, la organización de los equipos, responsabilidades y preparación específica.

El Congreso contó con un Plan de Calidad diseñado por el equipo de voluntarios para recabar información relativa a su desarrollo. Las encuestas llevadas a cabo, el número potencial de respuestas y el número de respuestas obtenidas se detallan en Tabla 3.

Tabla 3 Relación de encuestas realizadas en el marco del Plan de Calidad del Congreso, público objetivo y número de respuestas potenciales y obtenidas.

Encuesta	Público objetivo			Número potencial de respuestas	Respuestas de obtenidas
Encuesta de satisfacción asistentes	de	Participantes en el congreso		260	103
Encuesta de valoración relatores		Relatores de distintas sesiones	de las	66	57
Encuesta de valoración de sesiones		Voluntarios responsables de las sesiones		36	33
Encuesta de satisfacción voluntarios	de	Voluntarios del congreso		15	12

La encuesta de satisfacción a los asistentes se planteó para que pudiese ser completada en un tiempo muy breve, solicitando la valoración por parte de los asistentes de 13 aspectos relacionados con la organización y desarrollo del congreso en 5 categorías (muy deficiente, deficiente, normal, buena y excelente). La encuesta podía completarse mediante un portal de internet desde el jueves 19 de septiembre hasta el martes 1 de octubre, obteniéndose en este periodo 103 respuestas.

Los relatores (moderadores) de cada una de las sesiones recibieron una encuesta en la que se les solicitaba valorar el cumplimiento de horarios de la sesión, las instalaciones (estado del mobiliario, iluminación, acústica,...), la climatización, el apoyo recibido por parte del voluntario asignado a la sesión y el interés de las comunicaciones presentadas. La escala de valoración para estas preguntas comprendía tres categorías (Deficiente, Normal y Excelente). Por otra parte se consultó si durante la sesión hubo

alguna incidencia con los equipos utilizados y se dejó la opción de consignar los comentarios o quejas, tanto suyos como de los asistentes a la sesión.

Una de las funciones estipuladas para el voluntario responsable de cada una de las sesiones fue la de completar un formulario de control de sesiones en el que se consignó el número de ponencias orales respecto a las programadas, el número aproximado de asistentes por sesión, si la carga de las presentaciones se llevó a cabo en el tiempo establecido, y algunos aspectos también valorados por los relatores como la valoración en cuanto al cumplimiento de horarios, las instalaciones y la climatización de la sala, así como la presencia de incidencias relativas a los equipos empleados. Adicionalmente debían valorar la intervención de los relatores de la sesión y el apoyo recibido por parte de los voluntarios encargados de dar soporte a los que se encargaban de una sesión. Las escalas de valoración empleadas en los cuestionarios de control de las sesiones por los voluntarios fueron las mismas que en el caso de los relatores, comprendiendo tres categorías (“Deficiente”, “Normal” y “Excelente”) para los aspectos a valorar y simplemente “sí” o “no” para consignar la presencia o no de incidencias (en cuanto a la carga de los archivos o problemas con los equipos empleados). Se pudieron recabar datos de 33 de las 36 sesiones celebradas durante el congreso.

El último de los aspectos sobre el que se recabó información fue sobre la satisfacción de los propios voluntarios durante su participación en el congreso. Para ello se definió una encuesta en la cual los voluntarios podían valorar su nivel de satisfacción con ocho aspectos en tres categorías (“Deficiente”, “Normal” y “Excelente”). La encuesta fue respondida por 12 de los 15 voluntarios.

Todas las valoraciones fueron convertidas a valores numéricos entre 1, que corresponde a la valoración más negativa posible, y 5, que corresponde a la valoración más positiva posible.

Resultados y Discusión

Cuatro de las competencias identificadas como más relevantes por parte de las empresas (OIE, 2014) fueron desarrolladas por parte de los voluntarios durante su participación en el Congreso: La **motivación e implicación** orientadas a la satisfacción de los participantes (asistentes y relatores durante cada una de las jornadas y sesiones); la capacidad de **trabajar en equipo y liderazgo**, coordinándose entre todos los voluntarios y el resto de la organización; la **iniciativa** para proponer y ejecutar soluciones y mejoras tanto en la fase de planificación como durante la celebración del congreso, en un medio muy diferente al convencional de los estudios, y la **capacidad de resolución de problemas** para responder a todos los imprevistos y demandas que surgen en un evento de estas características. El resto de capacidades (Tabla 1) fueron desarrolladas también parcialmente, como se pudo observar en cada uno de los casos y participantes. El manejo de otros idiomas, también situado entre las cinco competencias más demandadas por las empresas resultó escasamente desarrollado en lo que respecta al inglés (aunque hubo de realizarse algunas intervenciones y acciones, en documentos y atención) y más en portugués.

Otras de las competencias desarrolladas por los voluntarios se encuentran entre las demandadas por las empresas y más infravaloradas por los estudiantes, o en las que las empresas detectan un déficit de formación. Entre éstas destacan, además de las ya

mencionadas anteriormente, la gestión del estrés, que fue puesta a prueba en una situación de alta demanda debido a las ya mencionadas características del evento; las habilidades directivas, necesarias para alcanzar una coordinación entre todos los colaboradores; la gestión del tiempo para el cumplimiento de la programación; la experiencia práctica puesta a prueba en una situación real de organización de un evento o la comunicación con clientes y compañeros que fue puesta en práctica durante todo el Congreso.

La evaluación del desarrollo de todas estas competencias puede ser realizada mediante el grado de consecución de los objetivos. De esta forma, el grado de satisfacción de los “clientes” externos (asistentes y relatores) e internos (otros voluntarios y miembros de la organización) puede emplearse como medida indirecta del desempeño en cuanto a las competencias identificadas como necesarias para la actividad realizada. El muy alto nivel de desempeño de los voluntarios queda reflejado en las valoraciones a su actividad otorgadas directamente a su labor por parte de los asistentes al congreso (4,44/5) y por los relatores de las sesiones (4,96/5), que suponen a su vez la mayor valoración otorgada por cada uno de estos colectivos a los aspectos consultados. La Tabla 4 muestra las valoraciones de los distintos aspectos del congreso por parte de los asistentes, destacando en azul y negrita la labor de los voluntarios y en azul y cursiva los aspectos a los que en cierta medida contribuyó la labor de los voluntarios.

Tabla 4 Valoración de algunos de los aspectos del congreso por parte de los asistentes

Aspecto valorado	Valoración (1 a 5)
Procedimiento de inscripción al congreso mediante web	3.70
Funcionamiento de la web para carga y evaluación de trabajos	3.56
Labor del comité científico (evaluación de trabajos y programación de sesiones)	3.92
Calidad de los trabajos y presentaciones	3.81
Desarrollo de sesiones (programación e incidencias)	3.59
Acceso a la información contenida en la Tablet	3.36
Orientación y apoyo de voluntarios (organización)	4.44
Plan de emergencias	3.70
Adecuación de instalaciones (visibilidad, sonido, climatización...)	3.62
Calidad y organización de comidas	3.65
Programa social del congreso	3.60
Tarifa de inscripción al congreso	2.22
Señalización y acceso a las instalaciones	3.41

La Tabla 5 muestra las valoraciones de los distintos aspectos del congreso por parte de los relatores, destacando de nuevo en azul y negrita la apreciación directa de la labor de los voluntarios y en azul y cursiva los aspectos a los que los voluntarios realizaron alguna contribución.

Tabla 5 Valoración de algunos de los aspectos del congreso por parte de los relatores (moderadores)

Aspecto valorado	Valoración (1 a 5)
Cumplimiento de horarios	3.75
Instalaciones	4.09
Climatización	4.16
Apoyo del voluntario	4.96
Interés de las comunicaciones	4.02

Por último, dos de los aspectos consultados a los propios voluntarios, reflejados en la Tabla 6, suponen una evaluación del trabajo desarrollado por sus propios compañeros de forma directa y de nuevo son los aspectos mejor valorados en las respectivas consultas.

Tabla 6 Valoración de algunos de los aspectos del congreso por parte de los voluntarios

Aspecto valorado	Valoración (1 a 5)
Apoyo externo durante las sesiones	4.5
Comunicación entre los voluntarios	4.83

Por último, la evaluación de la labor de los voluntarios por parte del Comité Organizador del Congreso fue excelente, y así se reflejó en los certificados de participación expedidos por la Secretaría del Congreso. No se evaluó, pero fue evidente y comentada, la adquisición de conocimientos técnicos que supuso su presencia en un alto número de presentaciones técnicas y científicas.

Todos estos aspectos constituyen una valoración completa al uso de las denominadas evaluaciones 360º a las que contribuyen supervisores, compañeros y clientes. Consideramos también que el nivel de desempeño está fuertemente ligado a la puesta en práctica de las competencias necesarias para una labor determinada y que por lo tanto podemos concluir que los estudiantes que colaboraron como voluntarios del Congreso experimentaron un importante desarrollo de capacidades que les resultarán de gran utilidad en su futura vida laboral.

Conclusiones

La participación de estudiantes en la organización de congresos científicos y reuniones de todo tipo en el ámbito universitario (simposios, foros, conferencias) supone una experiencia en la que deben poner en práctica una buena parte de las competencias fundamentales para su futura incorporación al mercado laboral. Estas competencias no son en algunos casos adecuadamente desarrolladas en su paso por la universidad.

La evaluación del desarrollo de las competencias puestas en práctica puede ser llevada a cabo mediante la evaluación del desempeño, práctica habitual en un gran número de empresas, y enriquecer ésta mediante la aportación de distintos agentes que aporten una visión más amplia del mencionado desempeño.

La colaboración de estudiantes en la organización de congresos y actividades debe ser fomentada desde las instituciones universitarias, normalizando en la medida de lo posible la metodología para una adecuada evaluación de los estudiantes participantes en este tipo de actividades.

Agradecimientos

A las sociedades científicas, Sociedad Española de Agro-Ingeniería (www.agroingenieria.es) y Sociedad Española de las Ciencias Hortícolas (www.sech.info), a las empresas patrocinadoras (www.sechaging-madrid2013.org), al grupo de investigación LPF-TAGRALIA y al departamento (actualmente) de Ingeniería Agroforestal, y al profesorado y personal de la ETSIA y EUITA de la UPM por su positiva colaboración; asimismo a los miembros del Comité Organizador.

Bibliografía

- ABET (2014). Criteria for Accrediting Engineering Programs. Engineering Technology Accreditation Commission. Effective for evaluations during the 2015-2016 accreditation cycle. <http://www.abet.org/etac-criteria-2015-2016/>
- Barreiro Elorza, Pilar (2010). Relación entre la Universidad y las empresas en los aspectos docentes y formativos.. En: "VIII Jornadas sobre la actividad docente e investigadora en Ingeniería Agroforestal.", 22/09/2010 - 24/09/2010, Sevilla, España.
- European Qualifications Framework (EQF)
<https://ec.europa.eu/ploteus/content/descriptors-page>
- MECES (Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior), Real Decreto 96/2014,, http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-2359
- OIE (2014). "Informe OIE sobre jóvenes y mercado laboral: El camino del aula a la empresa." Observatorio de Innovación en el Empleo, Madrid.
- Perdigones, A., Valera, D. L., Moreda, G. P., and García, J. L. (2014). Competences in Demand within the Spanish Agricultural Engineering Sector. European Journal of Engineering Education, 39(5) 527-538.
- Tascón, A., Álvarez, R., Couto, A., Gutiérrez, P., and Aguado, P. (2013). Estudio de inserción laboral y competencias en ingenieros agrónomos titulados por la Universidad de León. In "VII Congreso de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas", Madrid. Nº C0236.

IA11 - Experiencia de evaluación de competencias transversales en el Máster de Ingeniero Agrónomo de la Universidad Politécnica de Valencia

Ortiz, C.¹, Torregrosa, A.¹,

¹ Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, cortiz@dmta.upv.es, torregro@dmta.upv.es

Resumen

La puesta en valor de las competencias transversales de los estudiantes universitarios es fundamental para la formación integral de los profesionales creativos y productivos que la sociedad demanda. En el presente trabajo se presenta el desarrollo de una experiencia de evaluación de competencias transversales en el Máster de Ingeniero Agrónomo de la Universitat Politècnica de València (UPV). Se ha diseñado una actividad específica para la evaluación de las competencias transversales: “análisis y resolución de problemas”, “aplicación y pensamiento práctico”, “trabajo en equipo y liderazgo” y “comunicación efectiva” planteadas dentro del marco del proyecto de competencias transversales de la UPV. La actividad está encuadrada dentro de la unidad didáctica “Selección y gestión de parques de maquinaria”, de la asignatura del máster, “Maquinaria y equipos para la producción agroalimentaria”. La actividad planteada se centra en un aprendizaje autodirigido: en el trabajo en grupo, la solución de problemas, el descubrimiento de nuevos conocimientos y la necesidad de basarse en el mundo real. La parte presencial consiste en 5 horas de clase y 5 horas de visita a la Feria de Maquinaria Agrícola de Zaragoza u otra similar (Tecnovid, Enomaq...). La evaluación de la unidad didáctica se realiza mediante un trabajo colaborativo (en grupos de dos o 3 personas), en el que los alumnos tendrán que enfrentarse a un problema de selección del parque de máquinas para la mecanización de un cultivo. La unidad se evalúa mediante una memoria justificativa de las soluciones encontradas y la exposición en público de los resultados, a través de un informe escrito, una presentación oral y un seguimiento tutorizado del trabajo. Este trabajo tiene un peso del 20% en la nota total de la asignatura. Los resultados de experiencia muestran los materiales desarrollados para la evaluación de los distintos niveles de adquisición de las competencias transversales evaluadas.

Palabras clave: educación universitaria, docencia.

An experience of generic skill evaluation in the Agricultural Engineering Master of Science of the Polytechnic University of Valencia

Abstract

Considering the importance of the generic skills of the university students is crucial to train the productive and creative workers that our society demands. The present work shows an experience of generic skill acquisition in the Agricultural Engineering Master of Science of the Polytechnic University of Valencia (UPV). A specific activity has been designed to evaluate the competences: “analysis and problem resolution”, “practical knowledge”, “team working and leadership” and “communication skills” framed in the UPV project of generic skill evaluation. The activity is included in the didactic unit “Farm machinery selection and managing” and it is developed in the subject “Machinery and equipment for the agri-food production”. The planned activity is centered in a self-directed learning: team working, problem solving, discovering new knowledge and the necessity of being based on the real world. The contact learning part is 5 hour in the class and 5 hours in a visit to the International Farm Machinery Fair in Zaragoza or a similar one (Tecnovid, Enomaq...). The didactic unit evaluation is carried out with a collaborative project (in 2-3 people groups), in which the students will need to solve an actual problem of farm machinery selection for a specific crop. The unit is evaluated by a report of the solutions found and an oral presentation of the results, a written report and oral presentation and a tutorial assistance. The project is 20% of the subject marks. The experience results show the designed materials in order to evaluate the different levels of generic skill acquisition.

Keywords: Higher education, competences, teaching.

Introducción

Desde la Declaración de Bolonia (1999) se ha desencadenado un cambio en el planteamiento de la Educación Superior a nivel mundial. El fundamento del cambio es hacer al estudiante el protagonista de su propio aprendizaje que debe ser significativo y autónomo. Siguiendo esta idea las universidades están cambiando su modelo de una formación centrada en la enseñanza a una formación centrada en el aprendizaje del estudiante (Villa-Sánchez y Poblete Ruiz, 2011). Esta enseñanza se basa en metodologías activas, que conciben el aprendizaje como un proceso constructivo y no receptivo (Johnson *et al.*, 2000).

El sistema de formación universitaria necesita proporcionar una base en de competencias específicas y genéricas o transversales para que los egresados puedan responder a las demandas de la sociedad. Una competencia es una capacidad para resolver un reto o problema. En este contexto la Universitat Politècnica de València (UPV) está desarrollando un proyecto institucional para acometer la formación en competencias transversales de sus estudiantes, así como su evaluación.

Dentro del marco del proyecto institucional de la UPV se encuadra el presente trabajo, en el que se plantea la forma práctica de abordar la formación y la evaluación de 4 competencias transversales, “análisis y resolución de problemas”, “aplicación y pensamiento práctico”, “trabajo en equipo y liderazgo” y “comunicación efectiva”.

Materiales y métodos

La metodología seguida para favorecer la formación de los alumnos en las competencias planteadas y abordar la evaluación del nivel de adquisición se describe a continuación.

Se desarrollan tres sesiones presenciales distribuidas de la siguiente manera:

1º sesión (2,5 horas): definición del trabajo y conceptos

- búsqueda de información de características técnicas de las máquinas
- búsqueda de información de precios de las máquinas agrícolas
- herramientas para la selección del tamaño de las máquinas

2ª sesión (2,5 horas):

- cálculo de los costes de las máquinas
- fases del trabajo

3ª sesión (5 horas): práctica de búsqueda de información

- visita a la Feria de Maquinaria Agrícola de Zaragoza u otra similar (Tecnovid, Enomaq...).

Se consideró que la forma más adecuada de evaluar la adquisición de las competencias era mediante un trabajo, en el que el alumno tiene que enfrentarse a un problema de selección del parque de máquinas para la mecanización de un cultivo.

El trabajo se realiza en grupos, elegidos por los alumnos, de 2-3 personas. Se evalúa mediante una memoria justificativa de las soluciones encontradas y la exposición en

público de los resultados. Cada alumno debe presentar una parte del trabajo y puede ser cuestionado por cualquier contenido del trabajo realizado.

Fases:

- 1) Elección de un cultivo (a voluntad de los alumnos).
- 2) Ubicación del mismo, a ser posible sobre un territorio físico (se puede usar cartografía disponible como Terrasit, Catastro...) para delimitar factores como pendientes del terreno, orientaciones, días de trabajo disponibles...
- 3) Determinación del tamaño de la explotación a elección de los alumnos, pero se recomienda que sea lo suficientemente grande como para justificar el uso de maquinaria.
- 4) Preparación de la hoja de cultivo, para determinar las necesidades de máquinas y mano de obra. En el caso de cultivos plurianuales, se puede realizar el estudio de un año cuando el cultivo ya ha alcanzado la plena producción. Para ello el alumno tendrá que buscar documentación relativa al cultivo en libros, información de otras asignaturas, agricultores...
- 5) Selección de las máquinas necesarias para mecanizar la explotación justificando:
 - número de máquinas
 - tamaño de las máquinas
 - Conjuntos compatibles tractor-aperos, desde el punto de vista de la estabilidad, tracción y potencia.
- 6) Cálculo del coste económico de las labores realizadas con las máquinas elegidas. Se calculará el coste de utilización de cada máquina, y el coste total del cultivo en maquinaria y mano de obra (no es necesario incluir otros inputs como fertilizantes, fitosanitarios...
- 7) Comparación de 2-3 alternativas (compra vs alquiler, varias máquinas pequeñas frente a una grande...) para justificar la solución elegida.

El trabajo realizado tendrá un peso del 20% en la nota total de la asignatura. Todos los integrantes del grupo deberán participar en la presentación y los profesores podrán formular preguntas sobre cualquier parte del trabajo a cualquiera de los alumnos.

Resultados

A continuación se presentan los materiales elaborados para la enseñanza y evaluación de las competencias transversales planteadas en el trabajo "Selección y gestión de parques de maquinaria".

En la Tabla 1 se presentan las metodologías de aprendizaje, así como los instrumentos de evaluación para cada una de las competencias transversales trabajadas.

La metodología empleada se centra en el método del caso y en el aprendizaje basado en problemas. Como instrumentos de evaluación se emplean distintos tipos de informes, salvo en la evaluación del trabajo en equipo que se elabora una hoja de observación.

En las tablas siguientes (Tabla 2, 3, 4 y 5) se presentan las rúbricas de evaluación de la actividad, separada por competencias transversales, "aplicación y pensamiento

práctico”, “análisis y resolución de problemas”, “comunicación efectiva” (escrita y oral) y “trabajo en equipo y liderazgo”. Todas las competencias se evalúan por grupo de trabajo excepto la “comunicación oral efectiva” y el “trabajo en equipo y liderazgo”, que se evalúan individualmente.

Tabla 1. Metodologías de aprendizaje e instrumentos de evaluación de la actividad, para cada una de las competencias trabajadas.

	Evaluación de:	Metodología de aprendizaje	Instrumentos de evaluación
Aplicación y pensamiento crítico	Selección y uso de la información (catálogos, preguntas...) recogida “in situ” en la visita a la Feria de Maquinaria.	Método del caso.	Informe escrito de resolución de un caso. (Referencias y selección de equipos del informe escrito)
Comunicación efectiva escrita	Informe escrito del trabajo colaborativo, parte individual en la asistencia a tutorías.	Método del caso.	Informe escrito de resolución de un caso.
Comunicación efectiva oral	Presentación del trabajo colaborativo.	Método del caso.	Informe de resolución de un caso de manera verbal y hoja de observación de la presentación oral.
Trabajo en equipo y liderazgo	Dinámicas de trabajo colaborativo en clase y en tutorías de resolución de problemas y del caso planteado.	Aprendizaje basado en problemas y método del caso.	Hoja de observación
Análisis y resolución de problemas	Resolución de los problemas incluidos en el trabajo.	Aprendizaje basado en problemas y método del caso.	Informe escrito de resolución de problemas y del caso planteado y hoja de observación.

Tabla 2. Rúbrica de evaluación de la competencia “Aplicación y pensamiento práctico”.

	Muy mal (MM)	Mal (M)	Regular (R)	Bien (B)	Muy bien (MB)
Aplicación y pensamiento crítico	Búsqueda de información Se limita a copiar y pegar y no presta atención a las fuentes.	Selecciona parte de los textos o datos, recorta, sin prestar atención a las fuentes.	Selecciona parte de los datos o textos, prestando atención a las fuentes, sin procesar y sin sintetizar.	Selecciona los datos o textos, prestando atención a las fuentes, procesando y sintetizando la información.	Selecciona los datos o textos, prestando atención a las fuentes, procesando y sintetizando la información de manera contrastada y razonada.
	Espíritu crítico Asume los resultados del proyecto estudiado sin crítica constructiva.	Establece una crítica de los resultados del proyecto basado en fundamentos erróneos.	Establece una crítica de los resultados del proyecto, pero poco elaborada y simple.	Establece una crítica constructiva del proyecto estudiado basada en fundamentos correctos.	Establece una crítica constructiva muy elaborada y fundamentada del proyecto estudiado.

Tabla 3. Rúbrica de evaluación de la competencia “Análisis y resolución de problemas”.

		Muy mal (MM)	Mal (M)	Regular (R)	Bien (B)	Muy bien (MB)
Análisis y resolución de problemas	Planteamiento del problema	Es incapaz de abordar el plantear el problema.	Plantea el problema con graves errores.	Plantea el problema con pequeños errores.	Plantea el problema sin errores.	Plantea el problema correctamente y muy bien estructurado.
	Seguimiento del procedimiento	Es incapaz de iniciar el procedimiento de resolución.	Inicia el procedimiento de resolución, pero es incapaz de acabarlo.	Inicia y termina el procedimiento de resolución, pero cometiendo errores.	Inicia y termina el procedimiento de resolución correctamente	Inicia y termina el procedimiento de resolución correctamente barajando todas las vías posibles.
	Interpretación de resultados	Es incapaz de interpretar un resultado.	Interpreta los resultados con graves errores.	Interpreta los resultados con pequeños errores.	Interpreta los resultados correctamente	Interpreta los resultados correctamente desde distintas perspectivas y estableciendo una discusión.

Tabla 4. Rúbrica de evaluación de la competencia “Comunicación efectiva” (oral y escrita).

		Muy mal (MM)	Mal (M)	Regular (R)	Bien (B)	Muy bien (MB)
Comunicación efectiva escrita	Formato y estructura del informe	No sigue el formato y la estructura definidos en la normativa de prácticas de la asignatura.	Sigue parcialmente el formato y la estructura definidos en la normativa del trabajo de la asignatura.	Sigue mayoritariamente el formato y la estructura definidos en la normativa del trabajo.	Sigue totalmente el formato y la estructura definidos en la normativa del trabajo.	Sigue perfectamente el formato y la estructura definidos en la normativa del trabajo.
	Redacción del trabajo escrito	El texto es difícil de leer, con frases desordenadas e inconexas y faltas de ortografía.	El texto se lee con dificultad.	El texto es claro, aunque con algunos fallos de expresión escrita.	El texto es claro y de fácil lectura.	El texto es claro y la redacción hace que la lectura sea muy clara.
Comunicación efectiva oral	Conocimiento de contenidos del trabajo presentado oralmente	Durante la presentación oral del trabajo se ha observado un desconocimiento total de los contenidos del trabajo.	Durante la presentación oral del trabajo se ha observado un nivel bajo de comprensión de los contenidos del trabajo.	Durante la presentación oral del trabajo un nivel aceptable de comprensión de los contenidos del trabajo.	Durante la presentación oral del trabajo un buen nivel de comprensión de los contenidos del trabajo.	Durante la presentación oral del trabajo ha demostrado un conocimiento total sobre los conocimientos y contenidos del trabajo.
	Presentación del trabajo oral	No está clara su explicación, no mira al público y lee la pantalla.	No está clara su explicación, no mira al público, pero no lee la pantalla.	No está clara su explicación, pero mira al público.	Está clara su explicación, habla fluidamente y mira al público.	Está clara su explicación, habla fluidamente, mantiene el público atento e interesado y responde correctamente a las preguntas.
	Presentación de Power Point	Mucho texto, con letra pequeña y muchas diapositivas para el tiempo dado en la presentación oral, texto copiado directamente del trabajo escrito.	Mucho texto, con letra pequeña, sin sintetizar del trabajo escrito.	Cantidad de texto e imágenes correcta, recortado del trabajo escrito.	Cantidad de texto e imágenes correcta, elaborado desde el trabajo escrito.	Cantidad de texto e imágenes correcta, ordenado y formateado de forma muy clara para su comprensión.

Tabla 5. Rúbrica de evaluación de la competencia “Trabajo en equipo y liderazgo”.

	Muy mal (MM)	Mal (M)	Regular (R)	Bien (B)	Muy bien (MB)
Trabajo en equipo y liderazgo	Realiza las tareas asignadas.	No cumple las tareas asignadas.	Cumple parcialmente las tareas asignadas o se retrasa.	Da cuenta en el plazo establecido de los resultados correspondientes a la tarea asignada.	La calidad de la tarea asignada supone una notable aportación al equipo. Además de cumplir la tarea asignada, su trabajo orienta y facilita el del resto de los miembros del grupo.
	Participa de forma activa en las tutorías.	No asiste a tutorías.	Interviene poco.	Se muestra activo y participativo.	Con sus intervenciones fomenta la participación. Su papel es fundamental en el aprovechamiento de la tutoría.
	Facilita la gestión positiva de las diferencias, desacuerdos y conflictos que se producen en el equipo.	Potencia el conflicto exagerando las diferencias.	Se pierde y no sabe reconducir las diferencias expresadas por los demás sin salir del embrollo.	Afronta los conflictos tratando las aportaciones y diferencias que se dan en el equipo.	Afronta los conflictos equilibrando las aportaciones y saliendo airoso del propio conflicto. Hace ver que las diferencias son enriquecedoras, logrando acuerdos aceptados por todos.
	Capacidad de liderazgo	No participa.	Interviene brevemente en la toma de decisiones del grupo.	Interviene moderadamente en la toma de decisiones del grupo.	Trata de coordinar las decisiones del grupo y encaminarlas hacia una dirección. Coordina de forma sistemática las decisiones del grupo y las encamina hacia una dirección teniendo en cuenta las intervenciones de los compañeros.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de evaluación de las distintas competencias transversales a través de la actividad diseñada.

En el caso de la competencia “Comunicación efectiva escrita”, un 10% de los alumnos mostraron deficiencias muy importantes a la hora de mantener un formato adecuado en el informe, y un 10% más, mostraron deficiencias importantes. A la vista de los resultados se ha planteado la necesidad de proporcionar un recordatorio de las normas de formato adecuado de un informe antes de la realización de la actividad. En cuanto a la redacción del trabajo, solo un 10% de los alumnos presentaron ciertas dificultades. En el caso de la competencia “Comunicación efectiva oral”, tanto en la presentación del trabajo oral, como en la realización del *Power Point* se encontró un 15% de alumnos que no lo realizaba correctamente, aún presentando un nivel de conocimientos adecuado de los contenidos. Se vuelve a plantear la necesidad de proporcionar un recordatorio de las normas de presentación adecuadas.

En el caso de la competencia de “Análisis y resolución de problemas” el 100% de los alumnos demostró una capacidad muy buena para plantear problemas, y buena o muy buena para seguir el procedimiento. Sin embargo se presentaron serias dificultades en algunos casos para la interpretación de los resultados, con un 10% de alumnos con una interpretación mala y un 10% regular. En esta línea los resultados de la competencia transversal “Pensamiento crítico” confirman como un 20% de los alumnos presenta una capacidad mala o regular de tener un pensamiento crítico. Estos resultados demuestran la necesidad de hacer hincapié en el fomento de la discusión en clase y de la interpretación crítica de los resultados.

Tabla 6. Resultados de evaluación en porcentaje de alumnos según las rúbricas de las distintas competencias transversales diseñadas para la actividad “Selección y gestión de parques de maquinaria”, de la asignatura del máster, “Maquinaria y equipos para la producción agroalimentaria”.

		MM	M	R	B	MB
Comunicación efectiva escrita	Formato y estructura del informe	10	10	45	35	
	Redacción del trabajo escrito		10	55	35	
Análisis y resolución de problemas	Planteamiento del problema					100
	Seguimiento del procedimiento				35	65
	Interpretación de resultados	10	10	45	35	
	Conocimientos del contenido presentado				55	45
Comunicación oral efectiva	Presentación del trabajo oral		15	50	35	
	Presentación del Power Point		15	25	60	
Pensamiento crítico	Búsqueda de información	10	10	55	15	
	Espíritu crítico	10	10	55	45	

Se ha puesto de manifiesto la dificultad para evaluar la competencia “Trabajo en equipo y liderazgo”. Se plantea la necesidad de utilizar un seguimiento tutorizado para poder llevar a cabo la evaluación de esta competencia.

Conclusiones

Los resultados de experiencia presentan las metodologías planteadas para trabajar las distintas competencias transversales, y muestran los procedimientos para evaluar los distintos niveles de adquisición de éstas.

A la vista de los resultados se ha planteado la necesidad de proporcionar un recordatorio de las normas de formato adecuado tanto del informe escrito como de la presentación oral. También se plantea la necesidad de hacer hincapié en el fomento de la discusión en clase y de la interpretación crítica de las fuentes de información y de los resultados.

Además se ha constatado una gran dificultad para llevar a cabo la evaluación de la competencia “Trabajo en equipo y liderazgo”. Por ello, se ha planteado la necesidad de realizar unas sesiones de tutorías con los grupos para poder llevar a cabo un seguimiento más completo. Así como, para entregarles a los alumnos una retroalimentación que les sirva para aprender de sus errores.

Bibliografía

- Johnson, D.W, Johnson, R.T. y Smith, K.A. 2000. Active Learning: Cooperation in the College Classroom, Interaction Book, Edina, MN.
- Villa-Sánchez, A. y Poblete Ruiz, M. 2011. Evaluación de competencias genéricas: principios, oportunidades y limitaciones. Bordón 63 (1), 147-170

IA12 - Diseño de parques de maquinaria en explotaciones agrarias como herramienta de innovación educativa en mecanización agraria

Suarez de Cepeda, M.¹; Romero, R.²

¹ ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, mariano.suarez@uclm.es.

² ETSIAM-UCLM, Av. Ciudad Universitaria, s/n, 02071 Albacete, raimundo.romero@uclm.es

Resumen

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM) de Albacete de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) oferta el título de Grado en Ingeniero Agrícola y Agroalimentario (GIAA), entre otros. El plan de estudios de la titulación de GIAA incluye una asignatura denominada Planificación de infraestructuras y mecanización agraria (PIMA). La asignatura de PIMA proporciona los conocimientos y herramientas necesarias para programar proyectos y planes de infraestructuras y mecanización agraria. Desde el plan Bolonia, las metodologías docentes se han diversificado. Un método para la adquisición de capacidades en mecanización agraria es la realización de una selección técnico-económica de parques de maquinaria para explotaciones agrarias. La descripción del desarrollo de la selección de parques de maquinaria para diferentes condiciones es el objeto del presente trabajo. El trabajo incluye como resultados un estudio de las soluciones obtenidas en el diseño de los parques de maquinaria.

Palabras clave: Optimización, tractor, costes

Design of farms machinery as a tool for educational innovation in agricultural mechanization

Abstract

The Higher Technical School of Agricultural and Forestry Engineering (ETSIAM), of University Castilla-La Mancha (UCLM) offer the University degree in Agricultural Engineering and Agri-food industry (GIAA), among others. The curriculum of GIAA includes a subject called Agricultural mechanization and infrastructure planning (PIMA). The subject of PIMA provides the knowledge and tools needed for to program infrastructure projects and agricultural mechanization plans. From the Bologna plan, teaching methods have diversified. A method for acquiring skills in agricultural mechanization is technical-economic selection of farms machinery. The description of the development of farm equipment selection for different conditions is the subject of this paper. The work includes a study of the solutions obtained in the design of farms machinery

Keywords: Optimization, tractor, cost

Introducción y/o Justificación

La Orden CIN/323/2009, de 9 de febrero, establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habilitan para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Agrícola.

Entre los objetivos de dicha Orden, está que los estudiantes adquieran la competencia que los capacite para la preparación previa, concepción, redacción y firma de proyectos que tengan por objeto la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de bienes muebles o inmuebles que por su naturaleza y características queden comprendidos en la técnica propia de la producción agrícola y ganadera (instalaciones o edificaciones, explotaciones, infraestructuras y vías rurales), entre otras.

Así mismo deben de adquirir:

- los conocimientos adecuados de los problemas físicos, las tecnologías, maquinaria y sistemas de suministro hídrico y energético, los límites impuestos por factores presupuestarios y normativa constructiva, y las relaciones entre las instalaciones o edificaciones y explotaciones agrarias,
- la capacidad para la dirección y gestión de toda clase de explotaciones agrícolas y ganaderas, con conocimiento de las nuevas tecnologías.

Entre los conocimientos que deben de comprender, y utilizar se encuentran:

- en el módulo común a la rama Agrícola, los principios de la ingeniería del medio rural, particularizado en el cálculo de estructuras y construcción, hidráulica, motores y máquinas, electrotecnia y proyectos técnicos,
- en el módulo de tecnologías específicas a las Explotaciones Agropecuarias, la maquinaria agrícola, y la agroenergética,
- en el módulo de mecanización y construcciones rurales, la mecanización agraria.

La Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) oferta en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM) de Albacete, la titulación de Grado en Ingeniero Agrícola y Agroalimentario. Esta titulación contempla entre sus asignaturas, una que se corresponde con la denominación de Planificación de infraestructuras y mecanización agraria.

Según la memoria de verificación del título, esta asignatura contempla el aprendizaje para ejecutar planes de mecanización, aplicar herramientas de mecanización y dirigir y gestionar explotaciones agrarias.

Las metodologías de enseñanza no son ilimitadas. Según Fernández (2003), estas se pueden agrupar en tres categorías:

- Métodos de enseñanza basados en las distintas formas de exposiciones magistrales.
- Métodos fundamentados en el aprendizaje individual.
- Métodos orientados a la discusión y/o al trabajo en equipo.

De los métodos basados en Lección magistral, se pueden distinguir los que se corresponden con Exposiciones formales (Conferencia de un solo profesor y Conferencias sucesivas de varios profesores) y las Exposiciones informales (Exposición magistral informal, Exposición-demostración, Exposición-presentación de un caso y Exposición presentada por los alumnos)

De los métodos de Trabajo autónomo, se diferencian los de Dirección de estudios (Contrato de aprendizaje, Programa de lecturas, Stages, Enseñanza cooperativa y Enseñanza a distancia) y el Trabajo individual (Enseñanza modular, Audio-tutoría, Enseñanza por prescripciones individuales, Enseñanza personalizada y Enseñanza programada)

De los métodos de trabajo en grupo, se distinguen Seminarios (Seminario clásico, Propositiones de Nisbert y Debate), Estudio de casos (Método de Harvard, Caso dramatizado, Caso simplificado, Técnica de Pigors y Redacción de casos por los alumnos), Enseñanza por pares (Proyecto, Aprendizaje por resolución de problemas, Trabajo dirigido o taller, Célula de aprendizaje, Simulación, Juego educativo y Juego de roles) y Otros (Sesiones de laboratorio, Microenseñanza y Team-teaching).

Debido a los contenidos que la asignatura de Planificación de infraestructuras y mecanización agraria tiene, se considera que uno de los métodos más adecuados de enseñanza-aprendizaje, es el trabajo individual por medio de enseñanza programada.

Considerando esta metodología, y los conceptos y documentos que se deben de manejar para alcanzar los objetivos de las competencias a adquirir, lo más apropiado es proporcionar al alumno una explotación agraria, definida por municipio, condicionantes físicos, superficie y cultivos, con el objeto de que realicen una selección técnico-económica del parque de maquinaria agrícola más adecuado a la explotación de entre una serie de variantes impuestas con el objeto de que adquieran el conocimiento de la influencia de los factores en la implementación y desarrollo de los diseños de parques de maquinaria.

Por ello, el objeto de este documento es la descripción del desarrollo del diseño de los parques de maquinaria de explotaciones agrarias y los resultados obtenidos por los alumnos.

Material y Métodos

Los criterios para el diseño de los parques de maquinaria para explotaciones agrarias, son los siguientes:

Seleccionar cultivos, superficie, calendario de operaciones y tiempo disponible para las labores.

Fijar un periodo de tiempo (días, semanas o meses), sobre el que se va a determinar la selección, por cuanto el modelo más adecuado, en las condiciones agronómicas de la zona sobre las que se fijan las explotaciones, es el de mínimo tiempo disponible para las operaciones.

Repartir equitativamente las superficies a labrar en el periodo de realización de la labor. Alternativamente se puede diseñar el parque de maquinaria acumulando tareas en determinados periodos de tiempo.

Realizar una distribución temporal y espacial de las operaciones. En el caso de un único cultivo, es evidente que las operaciones son de manera sucesiva. Cuando existen varios cultivos, puede ocurrir por calendario, la necesidad temporal de superposición de labores, por lo que se plantean dos distribuciones de operaciones y tiempos:

- Repartir la superficie a trabajar de cada cultivo según las distintas operaciones proporcionalmente al tiempo disponible dado por el calendario para las labores, para el espacio de tiempo fijado anteriormente. Equivale a realizar, por ejemplo en la misma semana, porque así lo requiera la explotación, la labor de alzado a un cultivo, labor de cultivador a otro, y así respectivamente.
- Acumular la superficie a trabajar según las distintas operaciones a unos periodos iniciales para que, independientemente del cultivo, las labores en la explotación se realicen de manera sucesiva. Equivale a acumular en un periodo de tiempo todas las superficies a alzar, posteriormente toda la superficie a labor de cultivador, etc.

En ambos casos siempre se ha de considerar que los límites de tiempo vienen impuestos por la fechas de siembra, y siempre que existan condiciones adecuadas para el laboreo. El no darse las condiciones adecuadas, se van a tener que plantear otras

alternativas posibles, como la alteración de labores, o la utilización de semillas de distinto ciclo vegetativo.

Puesto que esta distribución se realiza a lo largo de todo el año, se debe de estudiar la superficie y el periodo de tiempo en que coinciden el mayor número de labores con mayores requerimientos energéticos.

Para conocer los periodos de actividad y requerimientos, se deben de identificar superficies operativas equivalentes para las labores, o en su caso proporcionar unas distribuciones de tiempos proporcionales al tipo de labor y tamaños de aperos compatibles, considerando que las operaciones de alto requerimiento energético ponderan en 1 (labores profundas de subsolado y arado), las de requerimiento medio en 1/3 (labores complementarias y siembra) y las labores de bajo requerimiento energéticos en 1/9 (labores de abonado y tratamientos). Esta ponderación proviene de considerar las capacidades de trabajo medias para las labores requeridas, y en consecuencia los tiempos de ejecución para labores y aperos estándar. La capacidad de trabajo se define como la superficie labrada en un periodo de tiempo (ha/h). Y el tiempo de ejecución es la inversa de la capacidad de trabajo (h/ha).

Fijada las superficies a trabajar en el tiempo disponible para una de las condiciones anteriores se calculan las capacidades de trabajo para cumplir el calendario de labores.

$$Ct(ha \cdot h^{-1}) = \frac{a(m) \cdot v(km \cdot h^{-1})}{10} \quad (1)$$

Posteriormente se determina la anchura de trabajo del apero (m) obtenida de la ecuación (1), establecido que las velocidades vienen tabuladas y determinadas para las condiciones óptimas para los tipos de labor a realizar.

Con este valor se debe de elegir el apero adecuado y seleccionar la potencia de tractor más adecuada al apero elegido. Los modelos de selección técnica del tractor compatible con el apero elegido son variados. En el presente documento las metodologías recomendadas son las obtenidas por medio de la estandarización de aperos basadas en catálogos comerciales según (Romero, 2011; Suárez, 2014, Suárez y Romero, 2014).

Para el tractor obtenido se deben de seleccionar los aperos para el resto de las labores consultando las tablas de estandarización de los aperos basadas en catálogo comerciales.

Con este método de trabajo, se asegura que los anchos de los aperos en cada una de las labores son suficientes para cumplir todo el calendario de trabajo. Para realizar comprobaciones se debe de proceder calculando, por la metodología expuesta anteriormente, el ancho de trabajo mínimo por medio de la capacidad de trabajo para el apero y labor implicada.

Si técnica y agronómicamente interesase usar varios tractores, se debe de fraccionar el ancho del apero obtenido en tantos como tractores interese y con las potencias deseadas según las consultas que se realicen a las tablas de estandarización de aperos.

La precaución de realizar la comprobación expuesta anteriormente se muestra necesaria por cuanto en el caso de tener que adquirir cualquier otro apero distinto para

el que se ha realizado el cálculo de mínimo ancho disponible, se puede determinar la anchura mínima requerida de ese implemento, de tal manera que se puede adquirir o dejar en la explotación uno de anchura inferior al mínimo necesario, o en el caso de dos o varios tractores solo adquirir un apero para uno de los tractores pues cumple con el mínimo necesario para cumplir con la labor.

Posteriormente se debe de calcular el número de horas de trabajo con cada tractor y cada apero por medio del tiempo de ejecución de cada labor sobre la superficie considerada. En el caso de varios tractores se plantean que distribuciones se hace de tractores y aperos, que va a condicionar las horas de utilización de cada uno. En general, se recomienda que se distribuyan los aperos para que salgan unas horas equitativas entre ambos tractores.

Conocidas las horas, se recomienda aplicar las ecuaciones del coste para cada uno de los aperos de la explotación y por lo tanto de cada labor, mediante una metodología sencilla y válida, de entre todas las que son consultadas y comparadas, según Suárez (2005), resumidas en:

$$CT = (Amo + Int + AS) + (CC + RM) * h \quad (2)$$

En donde CT viene en $\text{€} \cdot \text{año}^{-1}$, así como Amo , Int y AS . $CC+RM$ viene en $\text{€} \cdot h^{-1}$, y h es el nº de horas.

En el que la amortización (Amo) por el método de la depreciación lineal:

$$Amo = \frac{V_{adq} - V_{res}}{N} \quad (3)$$

siendo:

A: amortización, $\text{€} \cdot \text{año}^{-1}$.

V_{adq} : valor de adquisición de la máquina, € .

V_{res} : valor de reventa de la máquina, € . (25% del V_{adq})

N: número de años de vida útil.

El interés del dinero invertido (Int) considerado a lo largo de la vida útil del tractor:

$$Int = \frac{V_{adq} + V_{res}}{2} \cdot i \quad (4)$$

siendo:

Int : interés del capital invertido, $\text{€}/\text{año}$.

V_{adq} : valor de adquisición de la máquina, € .

V_{res} : valor residual de la máquina, € .

i : interés del dinero, $\%_u$ (0,02).

Los gastos de alojamiento y seguros (AS) se determinan como el 1% del valor de adquisición.

El consumo de combustible (Cc) se estima en:

$$q = 0,11 \cdot N_N \quad (5)$$

$$Cc = q \cdot P \quad (6)$$

siendo:

q : consumo horario de combustible, l/h.

Q : coste horario de combustible, €/h.

N_N : potencia nominal del tractor, kW.

P : precio del combustible, €/l.

Los costes de reparaciones y mantenimiento (RM) se estiman en:

$$RM = \frac{1,0}{H} \cdot V_{\text{adq}} \quad (7)$$

siendo:

RM : coste de reparación y mantenimiento, €/h.

V_{adq} : valor de adquisición de la máquina, €.

H : Horas de vida útil

Debido a que el cálculo de costes es un cálculo a priori, se considera que los años de vida útil y las horas de vida útil se estimen las obtenidas de las tablas generales de la literatura publicada al respecto según FAO (1991).

Atendiendo las consideraciones establecidas en esta metodología se solicitó a un grupo de alumnos que diseñaran parques de maquinaria para explotaciones agrarias con superficies comprendidas entre las 350 y 500 has, con varios cultivos entre los que se encuentran los cereales de invierno de secano (CIS), leguminosas de secano (LGS), oleaginosas de secano (OGS), cereal de primavera regadío (CPR), forrajes de secano (FOS), vid (VID) y olivar (OLI). En estos cultivos se consideraban itinerarios técnicos culturales incluyendo laboreo profundo, laboreo complementario, siembra y tratamientos, excepto en los leñosos que se consideraban los tradicionales. En el diseño del parque de maquinaria se les imponían las condiciones de que realizaran dos distribuciones de tiempos en los calendarios: distribuciones sucesivas de labores sin superponerse los distintos tipos (sin solapar), y distribución con superposición de labores (solapadas). Así mismo se les pidió, debido a la existencia de una mayoría de explotaciones con cultivos leñosos, que consideraran parques de maquinaria con dos tractores, y que en la selección de aperos, cuando solo era necesario un implemento, los fueran asignando entre ambos tractores para obtener un número de horas equitativas. En el caso de los tractores, se les pedía que consideraran casos con tractores de igual y diferentes potencias.

Resultados y Discusión

Resultados 1

La distribución de los índices de mecanización, para los métodos de operaciones sin solapar y operaciones solapadas, se muestran en la tabla nº 1 y 2. La media de estos índices en operaciones sin solapar y solapadas es de 0,62 y 0,77, respectivamente. Estos índices son prácticamente idénticos se consideren casos de tractores de igual potencia y de potencias diferentes.

Tabla 1. Nº de explotaciones según el índice de mecanización ($CV \cdot ha^{-1}$) en operaciones sucesivas

Índice de mecanización	0,30-0,40	0,40-0,50	0,50-0,60	0,60-0,70	0,70-0,80
Nº de explotaciones	1	3	3	9	5

Tabla 2. Nº de explotaciones según el índice de mecanización ($CV \cdot ha^{-1}$) en operaciones sucesivas

Índice de mecanización	0,60-0,70	0,70-0,80	0,80-0,90	0,90-1,00	1,00-1,10
Nº de explotaciones	5	10	2	2	2

Según el valor de dichos índices, se analiza que:

- cuando se trata de distribuir las labores sin solapamientos entre operaciones de distintos tipos, se tiende a ampliar los tiempos en el que se pueden realizar estas, proporcionando por lo tanto índices de mecanización menores (en un caso se intensifica);
- aunque se observa cierta tendencia a que los índices de mecanización sean mayores cuando más hectáreas de cultivos con calendarios agronómicos similares existen, la dispersión de valores es alta, pues se escogen periodos de tiempo con distintos márgenes como idóneos para realizar la labor. Cuando las labores son sin solapar la dispersión de índices de mecanización respecto a las superficies es absoluta;
- la existencia de cultivos leñosos no afecta a los índices de mecanización al observarse que las labores y condiciones técnicas de las mismas no son muy diferentes para la relación entre los tamaños de las explotaciones que se han considerado y los parques de maquinaria que proporcionan.

Resultados 2

La distribución de los costes de mecanización ($€ \cdot ha^{-1}$) según las distintas combinaciones planteadas se exponen en las tablas nº 3. Los costes de mecanización según las condiciones de estudio de las explotaciones con labores sin solapar y dos tractores iguales (LSSTI), labores sin solapar con dos tractores diferentes (LSSTD), labores solapadas con tractores iguales (LSTI) y labores solapadas con dos tractores diferentes (LSTD) son 111, 106, 121 y 110 respectivamente.

Según se observa en los resultados de costes de mecanización con respecto a los tipos de explotaciones que se plantearon se puede observar que:

- la mejor solución se encuentra en labores sin solapar con tractores diferentes, porque asignan más adecuadamente los aperos a los tractores, y reparten en mejor medida el número de horas de uso de ambos tractores;
- los máximos márgenes entre los cálculos para una explotación según los distintos tipos de condiciones se sitúa entre los 20-30 €·ha⁻¹.
- hay un ligero incremento del coste de mecanización con respecto al incremento del índice de mecanización pero con un alto grado de dispersión en cada índice;

Tabla 3. N° de explotaciones según el coste de mecanización (€·ha⁻¹) según distintas condiciones

Costes de mecanización	70-90	90-110	110-130	130-150	> 150
Nº de explotaciones LSSTI	6	4	6	4	1
Nº de explotaciones SSTD	6	4	10	0	1
Nº de explotaciones LSTI	3	6	5	4	3
Nº de explotaciones LSTD	5	4	8	3	1

- hay costes de mecanización muy homogéneos independientemente de su relación con la potencia de los tractores utilizados;
- no se encuentra una relación entre los costes de mecanización y los tipos de cultivos de cada explotación puesto que se les proponen cuadros técnicos de mecanización muy similares en todos los cultivos, y en todos los casos se les proporcionaban 3 cultivos por explotación;
- las mayores diferencias en costes de mecanización entre explotaciones, según la tabla 3, se debe al valor del coste que los alumnos asignan a los aperos.

Conclusiones

Esta metodología de trabajo se considera recomendable para que se aprenda a diseñar parques de maquinaria, se comprenda como los factores influyen en el diseño de los mismos y se enseñe y se cree la inquietud de buscar la solución técnica y económica más óptima para gestionar y dirigir explotaciones agrarias.

Bibliografía

- FAO, 1991. La ingeniería agrícola en el desarrollo: la selección de insumos de mecanización. Boletín de servicio agrícola de la FAO, 84. Editorial FAO
- Fernández, A., 2003. Formación pedagógica y desarrollo profesional de los profesores de universidad: análisis de las diferentes estrategias. *Revista de Educación*, 331, 171-199.
- Romero, R., 2011. Estandarización de maquinaria agrícola en los cultivos forrajeros basada en catálogos comerciales. VI Congreso Ibérico de Agroingeniería. Evora, 2011.
- Suárez, M. 2005. Sistema de Soporte a la decisión para los planes de mecanización de las explotaciones agrarias. Aplicación a un colectivo de agricultores de la región de Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral. UCLM.
- Suárez, M., 2014. Características de la maquinaria agrícola basada en catálogos comerciales (I). *Revista Tierras*, núm. 213, 20-27.
- Suárez, M., Romero, R., 2014. Características de la maquinaria agrícola basada en catálogos comerciales (II). *Revista Tierras*, núm. 220, 40-54.

IA13 - Guía básica para la elaboración de vídeos docentes. Vídeos sobre Técnicas de ensayo no destructivas en madera.

Relea Gangas, E.¹; Martínez Rodríguez, A.²; Casado Sanz, M.³; Acuña Rello, L.⁴

Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Avda. Madrid 44, 34004, Palencia,

¹erelea@iaf.uva.es ²andresmr@iaf.uva.es. ³milac@iaf.uva.es ⁴maderas@iaf.uva.es

Resumen

Se presenta a continuación una parte de un Proyecto de innovación docente de la Universidad de Valladolid titulado "Integración de las técnicas de ensayo no destructivas en la madera en la innovación de los programas docentes". Como parte de las actividades docentes se realizan Prácticas de laboratorio en las asignaturas relacionadas con Tecnología de la madera, utilizando técnicas de ensayo no destructivas. El objetivo de la propuesta era elaborar manuales de prácticas y vídeos, para el alumno y el docente, que sirvieran de apoyo al aprendizaje autónomo y a la docencia en modo semipresencial, recreando prácticas sobre Técnicas de ensayo no destructivas en madera. Se han elaborado vídeos utilizando equipos fácilmente accesibles y software de código libre. En la comunicación se elabora una guía práctica para facilitar la realización de vídeos docentes: planificación, equipo y materiales utilizados, software de edición de vídeo y audio, formatos de trabajo, almacenamiento final, etc... así como las facilidades y dificultades encontradas durante el proceso.

Palabras clave: docencia, innovación, materiales audiovisuales.

Basic guideline for making educational videos. Videos about non-destructive testing techniques in wood.

Abstract

The following is a part of a teaching innovation project of the University of Valladolid entitled "Integration of non-destructive testing techniques on wood in innovative educational programs". As part of the teaching activities in subjects related to Wood Technology, we usually perform Laboratory practices using non-destructive testing. The aim of the proposal was to develop practical manuals and videos, for the student and the teacher, serve to support independent learning and teaching in blended mode, recreating practices on non-destructive testing techniques in wood. Videos have been produced using easily available equipment and open source software. This paper is a practical guide to facilitate the realization of educational videos: planning, equipment and materials used, video and audio editing software, work formats, final storage, etc... and the simplicities and difficulties encountered during the process.

Keywords: teaching, innovation, audiovisual materials.

Introducción

En el año 2013 el grupo de investigación en Estructuras y Tecnología de la Madera, de la Universidad de Valladolid, presentó un Proyecto de innovación docente titulado "Integración de las técnicas de ensayo no destructivas en la madera en la innovación de los programas docentes". Dentro del mismo se proponía la elaboración de pequeños vídeos para documentar la realización de Prácticas y demostraciones relacionadas con la Tecnología de la madera, en especial la utilización de técnicas de ensayo no destructivas para obtener las propiedades resistentes de piezas de madera.

En estas Prácticas se cuenta con la presencia *in situ* de los alumnos, y como parte de las mismas se pide que elaboren un informe de cada práctica. Como ayuda se proporciona material docente complementario, en forma de manuales, a través de la plataforma Moodle. Aunque esta es la modalidad más habitual, a lo largo de los últimos

años los cursos van evolucionando hacia modalidades menos presenciales, en parte por el tipo de alumnado y en parte por la colaboración con otras Universidades muy alejadas físicamente, en concreto con tres Universidades argentinas: Universidad del Noroeste de Buenos Aires, Universidad Nacional de la Plata y Universidad Tecnológica Nacional. Esta lejanía física imposibilita la presencia de parte de los alumnos en el laboratorio y debido a ello se decide ampliar el material elaborado con la realización de pequeños vídeos demostrativos, ya que el formato de vídeo es muy adecuado como material docente. Se decidió utilizar herramientas sencillas y gratuitas para elaborar vídeos cortos que documentaran como se hacen estos ensayos.

Nuestra cultura es muy “visual” puesto que desde hace muchos años la televisión sobre todo, el cine, y ahora internet, nos muestran materiales audiovisuales de continuo. Esto hace que seamos grandes consumidores de imágenes en movimiento. Asimismo disponemos de dispositivos que permiten la realización y divulgación de vídeos de manera fácil. Esto crea la falsa impresión de que elaborar estos materiales es muy sencillo. Cámaras de vídeo, teléfonos y cámaras fotográficas permiten capturar vídeos y compartirlos en internet, pero disponer de aparatos que permitan grabar vídeos con buena calidad no basta para lo que se pretende. Los vídeos a nivel de aficionado son suficientes para el ocio, pero no lo son si se desea realizar algo más serio. Esto ocurre porque, acostumbrados a ver producciones profesionales, las producciones artesanales se quedan muy lejos de los mínimos exigibles para un uso formal.

En consecuencia esto obliga a tomar contacto con el mundo del vídeo y sus características técnicas.

En la presente comunicación se elabora una guía práctica para la realización de vídeos docentes: planificación, equipo y materiales utilizados, software de edición de vídeo y audio, formatos de trabajo, almacenamiento final, etc... así como las facilidades y dificultades encontradas durante la elaboración de los mismos.

Material y Métodos

Se van a grabar ensayos y prácticas instrumentales relacionadas con la caracterización de las propiedades de la madera, dentro de laboratorio, con escenas principalmente estáticas. Esto y a quien van dirigidos, condicionan las **características de los vídeos**, y las decisiones y **métodos seguidos** en cada una de las fases:

Forma de visualización:

- Visualización en monitores grandes/resoluciones grandes, tipo pantalla de ordenador o cañón proyector sobre pantalla.
- Visualización en dispositivos portátiles con pantallas/resoluciones pequeñas, tipo smartphones o tablets.

Medio de almacenamiento y difusión: internet, y más concretamente YouTube.

Duración: vídeos 3 a 8 minutos (cuanto más dura un vídeo es menos atractivo, además los ensayos que se van a grabar no necesitan más duración)

Formato de imagen: panorámico 16:9 (es el estándar actualmente)

Presentación: no hay presentador (únicamente aparece el funcionamiento de los equipos y los resultados), aunque sí voz *en off*.

Calidad: 1280x720 HD high definition. Es un correcto compromiso entre calidad y tamaño en MB del fichero resultante. Cuanta mayor sea la resolución del vídeo, mayor será el ancho de banda necesario para la descarga desde internet (si este ancho es insuficiente la reproducción no es fluida, y el usuario generalmente desiste de su visualización)

Se conseguirá **unidad de estilo** mediante:

- Carátula inicial y créditos comunes a todos los vídeos.
- Misma música en todos (con especial atención a los derechos de autor)

Almacenamiento: La primera opción fue buscar un servidor institucional de la Universidad de Valladolid, pero no basta un simple alojamiento de ficheros, debe ser un “servidor multimedia”. Se puede utilizar un servidor propio, pero hay que configurarlo como servidor multimedia y además esto obliga a tener el ordenador siempre encendido para servir los vídeos a demanda. Por ello se han buscado otras opciones y llegado a la conclusión de que la opción más práctica era el alojamiento de los vídeos en internet. Se analizaron entre muchos otros sitios YouTube y Vimeo. Finalmente se eligió YouTube. Sus principales ventajas son su omnipresencia y ser un servicio gratuito, y como principal inconveniente el posible añadido de anuncios publicitarios (con posibilidad de interrumpirlos al cabo de unos segundos). Tomada esta decisión se creó un Canal: **Maderas Uva**, accesible en la siguiente dirección: <https://www.youtube.com/channel/UCCaNObVWBhU5GZoAZ3ZuyzQ>

Derechos de autor: al crear la cuenta en YouTube se especifica que la propiedad intelectual siempre es de los autores de los vídeos, no existiendo ninguna cláusula de renuncia a los mismos.

Planificación: para realizar grabaciones profesionales el primer paso es la planificación. En esta fase se escribe el guión donde se van especificando cada uno de los clips de vídeo que se van a tomar, incluyendo la localización, duración, encuadres, movimientos de cámara, texto asociado, y los detalles que se consideren importantes. Asimismo se elabora un guión técnico en el que se incluye el orden de las filmaciones, los medios técnicos necesarios, si se va a utilizar el sonido ambiente, etc... Dada la sencillez de los vídeos a realizar, no se ha considerado necesaria toda esta planificación, y por ello los vídeos han tenido una componente importante de improvisación.

Grabación del vídeo: las grabaciones de vídeo se han realizado sin un plan predefinido, salvo grabar secuencialmente a medida que se desarrollaba la práctica, y sin suspender las actividades que se desarrollaban en el entorno. Esto proporciona naturalidad al resultado final. El inconveniente es que durante la filmación pueden entrar en encuadre elementos no deseados, por ejemplo personas que cruzan y pueden distraer la atención del espectador.

A medida que se desarrollaba la práctica se buscaban los mejores puntos de vista y encuadres para mostrar claramente qué tipo de operaciones se realizaban.

La grabación (en cine se llama filmación) consiste en la grabación de clips (tramos sin cortes) que después se unen en el orden que interesa. Cada clip puede durar desde unos tres segundos (o menos) a varios minutos.

Como orientación, para un vídeo con una duración final de unos 5 minutos, la grabación dura alrededor de una hora.

Además de las grabaciones se necesitan **imágenes fijas**, a modo de infografías, para exponer los resultados numéricos de las prácticas, las fórmulas utilizadas, capturas de pantalla de software, fotografías, los créditos de entrada y de cierre, etc...

Equipo utilizado: para todas las grabaciones se ha utilizado una **cámara** fotográfica réflex (Canon 60D). La razón es que de los dispositivos disponibles era el equipo que daba mejor calidad. Actualmente las cámaras reflex permiten obtener muy buenos resultados en cuanto a calidad de imagen, y si además se dispone de objetivos adecuados, los encuadres posibles dan muchas posibilidades. Una de las ventajas de los objetivos fotográficos es que tienen poca profundidad de campo (comparados con los objetivos estándar de las cámaras de vídeo), y esto permite enfocar y concentrar la atención del espectador en la zona del plano que interesa, y sacar de foco el resto de la imagen.

Las mejores **calidades** que permite esta cámara son: 1920x1080 a 25fps y 1280x720 a 50fps. La mayoría de las secuencias se han grabado a 1920x1080 a 25fps, que es la mejor, pero presenta dos inconvenientes: por una parte los ficheros resultantes son muy grandes, y por otra en las grabaciones de las pantallas de ordenador aparece un efecto *moire* muy acusado, sobre todo en monitores antiguos (CRT). Los dos inconvenientes se han solucionado utilizando 1280x720 a 50 fps, a cambio de perder un poco de calidad.

Las calidades más habituales en el mundo del vídeo son:

- (1) 640x480 SD standard definition
- (2) **720p**:1280x720 HD high definition
- (3) **1080p**: 1920 x 1080 full HD

Las menores resoluciones significan generalmente peor calidad (con ficheros más pequeños). Los vídeos de alta calidad se pueden reducir posteriormente, pero no al revés, por ello la mejor opción es grabar y editar con la máxima calidad que permitan los equipos (el mundo audiovisual avanza muy deprisa y en muy pocos años lo que ahora está a la última estará obsoleto). Por ello, cuando llega el momento de subir el vídeo es cuando se reduce de la mejor calidad a la calidad más adecuada en función de donde sube y de los medios de reproducción. Los almacenes de vídeos en internet permiten elegir, a partir de la calidad con la que fueron subidos, la resolución de visualización. Así YouTube permite seleccionar actualmente entre: 2160p (4k), 1440p (HD), 1080p (HD), 720p (HD), 480p, 360p, 240p , 144p y Automático. Por su parte Vimeo solo deja elegir entre HD y no HD.

Material auxiliar: en todos los casos para realizar estas filmaciones se utilizó un **trípode** para mantener fijo el encuadre. Se consigue así una imagen estable y no se depende de ningún sistema de estabilización. El resultado final tiene un aspecto profesional, se consigue una buena calidad final de la imagen y el tamaño de los ficheros resultantes es menor.

La **iluminación** presente en el laboratorio consistía en luz natural difuminada que entraba por ventanas cenitales así como luz artificial procedente de lámparas de tipo fluorescente, situadas asimismo en el techo. Con ello prácticamente no hay sombras. No se ha añadido ninguna otra fuente de luz.

Grabación del audio: Simultáneamente a la grabación de los vídeos se graba de forma automática el audio del ambiente. Se esperaba que el sonido ambiente fuera útil, sin embargo estos audios presentaban mucho ruido, ya que en un local contiguo a donde se realizaba la grabación existe un pequeño taller de carpintería y se recogían los sonidos de las máquinas de corte, así como conversaciones lejanas. Por tanto el sonido ambiente se sustituyó por una locución que explica el desarrollo de la práctica y una música de fondo para rellenar los silencios y dar un toque profesional al resultado.

Para grabar la **locución**, el planteamiento inicial fue grabar los audios utilizando un ordenador fijo y un micrófono externo, pero los resultados no fueron satisfactorios. Por un lado la calidad del micrófono era deficiente, y por otro aparecían problemas de falta de claridad de sonido por la recogida de ruidos externos, poco aparentes en el momento de la grabación pero muy evidentes al oír la grabación. Es decir, se obtenía un sonido de poca calidad y además “sucio”. Por ejemplo uno de los problemas de sonido viene del propio ruido de los ventiladores del ordenador, que es un ruido poco perceptible en vivo, pero que no es aceptable cuando se está grabando el audio para un vídeo.

Esto obliga a que sea imprescindible una edición del sonido para eliminar todos los sonidos extraños e intentar que la voz suene natural, y por ello utilizar el ordenador y un micrófono no es una buena solución (salvo que se empleen equipos caros), y es mejor utilizar equipos específicos para grabar sólo sonido. Otra opción interesante, y accesible, es utilizar un smartphone. En general se puede conseguir una calidad de sonido bastante superior a la que se puede obtener simplemente con un ordenador. La conclusión es que para grabar el audio los dos consejos básicos son buscar un local lo más silencioso posible, más difícil de encontrar de lo que se puede suponer, y utilizar un equipo de grabación de sonido que permita grabar con una mínima calidad.

En cuanto a los formatos para guardar el sonido, el audio de vídeo digital siempre utiliza frecuencias de 48000 Hz, estéreo, y 16 bits. Como formatos informáticos se emplean, entre otros, el WAV (formato sin comprimir) y el MP3 (formato comprimido). Si el dispositivo de grabación utiliza otro formato, los programas de edición permiten convertirlo al formato deseado.

La **música de fondo**, se utiliza para rellenar silencios y es muy habitual en los vídeos. Esto implica buscar músicas que creen ambiente y a la vez no distraigan la atención del espectador. La elección depende de los gustos personales y es una tarea más compleja de lo que puede parecer. Principalmente hay tres opciones: a) componer e interpretar la música a utilizar; b) comprar piezas musicales; y c) buscar en internet música “gratis”. Descartadas directamente la primera y la segunda (esta por cuestiones económicas), se deben buscar músicas libres, es decir, música que sea de dominio público o que esté bajo una licencia del tipo de la licencia pública general que va a permitir utilizar esta música sin infringir los derechos de autor del músico. Es la opción utilizada.

Generalmente estas músicas utilizan derechos Creative Commons y siempre que se respeten las condiciones que imponen este tipo de licencias no debería de haber ningún problema para utilizar estas fuentes. Lo que no se puede hacer es buscar música con derechos e incorporarlas de forma arbitraria. Esto no es legal, y aunque pudiera parecer que la música clásica, dado que muchos de sus autores murieron hace muchos años, es música libre y sin derechos de autor, esta música presenta derechos de ejecución y por tanto los titulares de los derechos son los músicos que la interpretan por lo que no es música libre.

Hay muchas páginas en internet donde encontrar músicas libres. Se han utilizado músicas de la página <http://dig.ccmixer.org/> . La única condición para su utilización es su cita en los créditos del vídeo.

Procesado de vídeo: hablar de procesado de vídeo es referirse a retocar los ficheros originales para mejorarlos o por lo menos para adaptarlos a las necesidades del programa de montaje final.

La edición permite cambiar los tipos de códec (codificadores de vídeo) así como utilizar diversos filtros que permiten cambiar por ejemplo los fps (frames -o fotogramas- por segundo), girar imágenes, redimensionar vídeos enteros (siempre que se reduzcan, porque los aumentos de tamaño producen pérdidas importantes de calidad), eliminar ruidos de imagen, aumentar la nitidez, añadir subtítulos, cambiar la velocidad de los vídeos, etc... Hacerlo, o no, depende de las necesidades que tenga el programa que se utilice para el montaje final. Si necesita que todos los clips estén con el mismo formato, por ejemplo, es posible que sea necesario hacer este tipo de conversiones.

Los formatos contenedores más habituales son:

AVI (Audio Video Interleaved = Audio y Video Intercalado). Formato estándar para almacenar. Buena calidad y tamaño de ficheros grande. Muy buena opción para guardar los originales.

MPEG (Moving Pictures Expert Group = Grupo de Expertos de Películas). Formato comprimido. Admite muchos tipos de codecs. Es el formato en el que se han guardado los archivos finales.

MOV (Formato QuickTime). Formato comprimido muy extendido actualmente.

Los ficheros proporcionados por la cámara utilizada son ficheros MOV, vídeo: codec H.264/AVC, de 25 o 50 fps; audio: Raw 16 bit PCM audio, estéreo, 48000 Hz, con un tamaño aproximado de unos 360 MB por minuto de grabación. La calidad de los ficheros originales es suficiente. El software de montaje de vídeo utilizado admite directamente estos ficheros por lo que no ha sido necesaria su edición.

Procesado de Audio: los ficheros de audio han necesitado ser procesados. Por una parte para desechar el sonido ambiente de la grabación. Por otro lado se procesaron los audios correspondientes a la locución (voz en off).

Para la edición de audio se utilizó el software Audacity. Es libre y gratuito y permite realizar las opciones básicas que se pueden esperar en la edición del sonido. Entre otras cosas permite reducir o incluso eliminar los ruidos de ambiente, así como igualar niveles de sonido, amplificar sonidos débiles... y dispone de muchos filtros, como la normalización o la compresión, para conseguir un sonido natural y equilibrado.

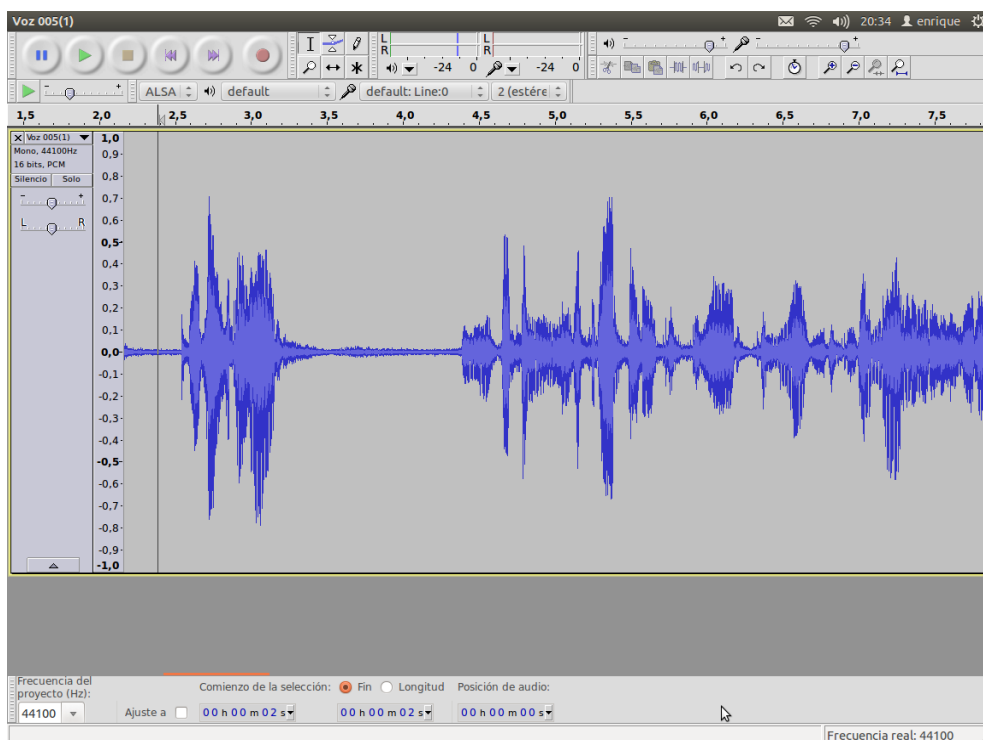


Figura 44: Audacity. Software de edición de audio.

Algunos de los defectos se eliminan con mucha facilidad, como los pequeños titubeos cuando el locutor está leyendo el texto, pequeños chasquidos, etc...

Edición de vídeo: toda la edición final -en cine se llama montaje- se realiza con software de edición de vídeo. Existe mucho software disponible tanto de pago como gratuito. En concreto se utilizó un editor de vídeo no lineal, llamado Kdenlive, que es software de código libre y gratuito.

Resultados

Una vez realizada la grabación en el laboratorio ya se dispone de clips de vídeo con audio ambiente. La secuencia de trabajo posterior consiste en colocar los clips en el orden que se necesite. Se añaden también títulos -créditos de apertura-, créditos de cierre y transiciones entre clips, imágenes estáticas para exponer los resultados numéricos de las prácticas, las fórmulas utilizadas, capturas de pantalla de software, fotografías, etc...

Con esto se tiene un primer montaje que se puede ver como una unidad. Esta primera visualización permite hacer una valoración del resultado. Se analiza si la duración de cada parte y del conjunto es adecuada. Si el vídeo es lento los espectadores se aburrirán, y si es demasiado rápido no tendrán tiempo de entender todo (aunque siempre pueden volver a ver la parte que necesiten). En función de ello se pueden eliminar clips o añadir más gráficos explicativos, por ejemplo. También se elabora el texto para la locución que se grabará a continuación.

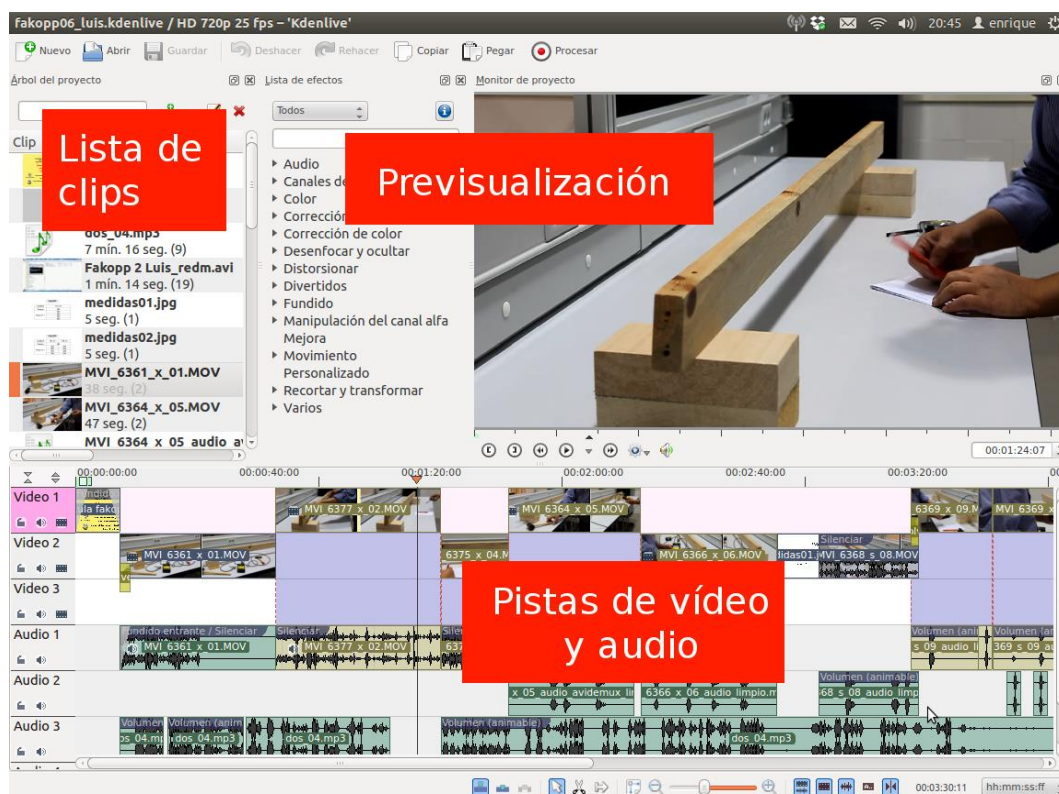


Figura 45: Kdenlive. Software de edición de vídeo.

A partir de este momento se trabaja de forma simultánea con el audio y con el vídeo, como puede verse en la Figura 2. Se dispone de varias pistas para vídeo y de varias pistas para audio. En los canales de vídeo se alternan los clips en las pistas 1 y 2, lo que permite crear fundidos entre unas y otras. Además es muy sencillo cambiar el orden de los clips. Para el audio también se dispone de 3 pistas: en una de ellas el sonido original, en otra la locución y en la última la música de ambiente. Este software permitirá utilizar, borrar, cambiar orden... es decir cualquier cosa que se necesite en esta fase de edición.

Cuando se termine habrá que exportar el resultado, y ese fichero final será el resultado de todo el trabajo.

El aprendizaje básico de utilización de estos programas es rápido, pero la edición es un proceso muy lento por acumulación de tareas: al menos cinco horas para un vídeo de cinco minutos.

Vídeo final, procesado y exportación: Una vez terminado el proceso de montaje, deberá procesarse el vídeo final. En este proceso el software se encarga de mezclar todas las pistas obteniéndose un único fichero, llamado MASTER, que se podrá guardar y publicar donde se desee. Debería exportarse con la mayor calidad posible. Este es el fichero que deberá subirse a YouTube.

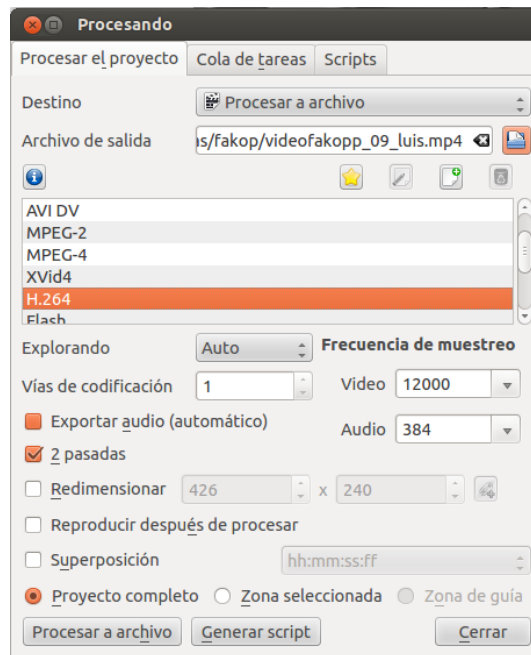


Figura 46: Selección de codecs y formato de exportación

Precisamente, en esta fase se elige el formato de exportación. Esta cuestión es muy importante, ya que YouTube no admite cualquier formato, sino solo unos pocos (y lo mismo ocurre en otros sitios que permiten compartir y almacenar vídeos digitales). Los más habituales entre los admitidos son:

- .MPEG4 (.mp4 .m4a)
- .MOV
- .AVI
- .WMV

Recomendaciones de configuración de vídeo

Tabla 13: Recomendaciones de configuración de vídeo en YouTube

VÍDEO	
Codec de compresión de vídeo	H.264
Frecuencia de fotogramas	Se recomienda la opción 30, aunque también se aceptan los valores 23, 98, 24, 25 y 29,97. Se han utilizado 25 fps.
Velocidad de datos	Automática
Fotogramas referencia	Automático
Reordenación de fotogramas	Sin activar
AUDIO	
Formato (codec)	AAC
OTROS	
Velocidad de bits	Constante como estrategia de codificación
Tamaño	Tamaño original del vídeo
Transmisión en tiempo real	Inicio rápido

El procesado final del vídeo, para obtener el Máster, es un proceso lento (depende del software y de la potencia del ordenador). Por dar una estimación, al menos 30 minutos de procesado para 10 minutos de vídeo, con un tamaño de fichero final de unos 35 MB por minuto de vídeo (fichero .mp4, con vídeo mpg4 y audio AAC).

Publicación: consiste en subir el Máster al canal (Maderas UVa) en YouTube. El acceso y gestión se realiza mediante autenticación por Usuario y Contraseña. La velocidad de subida depende de la conexión a internet, y una vez subido el fichero pasan unos minutos hasta que YouTube informa del éxito de la operación. Asimismo permitirá algunas opciones: poner nombre al vídeo, decidir si la visualización es pública (también permite ocultarlo o solo el acceso privado), permitir comentarios, elegir miniatura, etc... A partir de entonces el vídeo es universalmente accesible.

Conclusiones

Se pueden realizar vídeos con fines docentes con bastante facilidad.

Los medios materiales necesarios son fácilmente accesibles.

Para obtener buenos resultados es necesario adquirir ciertos conocimientos técnicos.

La publicación final es sencilla y universal.

El flujo de trabajo para la realización de los vídeos es el siguiente:

- Grabar los clips de vídeo (mejor con planificación previa)
- Montaje de los vídeos
 - Elaborar un guión básico a partir de los clips de vídeo
 - Primera fase de montaje
 - Ordenar los clips
 - Añadir los títulos
 - Añadir fotos, resultados, fórmulas, etc...
 - Primera visualización
 - Segunda fase de montaje
 - Mejorar fotos, resultados, fórmulas, etc...
 - Reordenar los clips
 - Redactar la locución
 - Grabar la locución
 - Montaje audio locución
 - Montaje música
 - Montaje créditos
- Procesado final del vídeo y exportación.
- Publicación

Agradecimientos

Universidad de Valladolid. Vicerrectorado de Relaciones Internacionales y Extensión Universitaria.

Bibliografía

- Audacity. Ayuda. Disponible en <http://audacity.sourceforge.net/help/> [Consultado: 17 de febrero de 2015]
- Avidemux. Documentación. Disponible en <http://www.avidemux.org/admWiki/doku.php> [Consultado: 9 de febrero de 2015]
- Creative Commons. Licencias. Disponible en <https://creativecommons.org/licenses/> [Consultado: 27 de marzo de 2015]
- Kdenlive. Manual del usuario. Wikilibros. Disponible en <http://es.wikibooks.org/wiki/Kdenlive> [Consultado: 16 de febrero de 2015]
- Maderas UVa. Canal de YouTube. Disponible en <https://www.youtube.com/channel/UCCaNObVWBhU5GZoAZ3ZuyzQ> [Consultado: 5 de marzo de 2015]
- Músicas libres. Disponible en <http://dig.ccmixter.org/> [Consultado: 2 de marzo de 2015]
- Vimeo. Centro de ayuda. Disponible en <https://vimeo.com/help/> [Consultado: 21 de marzo de 2015]
- YouTube. Ayuda de YouTube. Disponible en <https://support.google.com/youtube/> [Consultado: 21 de marzo de 2015]

ÍNDICE DE AUTORES

- Abad, R., 299
Abadía Sánchez, R., 118, 219
Acuña Rello, L., 1216
Aguado, P. J., 508
Agüera, J., 326, 958, 967
Aguilera-Hernández, R.A., 976
Aguirre, A.J., 88
Alarcón, J.J., 181
Albert, F., 917, 926, 936, 1031, 1039
Aleixos, N., 589, 917, 926, 936, 1021, 1031, 1039, 1057
Almeida, A., 285
Alonso, F., 428, 783
Alonso-García, M.C., 37
Altuzarra, A., 454
Andrade, A.P., 650
Andreu-Rodríguez, J., 380, 387, 393, 399
Andréu-Rodríguez, J., 461, 468
Arango, T., 747, 758
Arbat, G., 131, 142
Arranz, F.J., 877
Ayuga, F., 454, 474, 496, 508
Ayuga-Téllez, E., 560, 1093, 1158
Baeza, E.J., 56
Baptista, F.J., 95
Barbosa de Azevedo, 596
Barbosa, A.S., 650
Barbosa, J.C., 631
Barragán, J., 131, 142
Barreiro, P., 800, 877, 1082
Barrios Casado, A., 582, 1170
Bataller, C., 1039
Belarmino da Silva, 596
Belmonte, L.J., 661
Benedicto Schonemann, S., 1131
Benito-Hernández, S., 1124
Berenguel, M., 856, 946
Bermejo-Poza, R., 800
Berná Serna, J.M., 439, 446
Besteiro, R., 747, 758
Bezerra, J.D.C., 650
Blanco-Roldán, G.L., 308, 316, 889
Blanes, C., 1074
Blasco Ruís, M., 767
Blasco, J., 589, 917, 926, 936, 1021, 1031, 1039, 1057
Boné, A., 88, 242
Bové, J., 131, 142
Brasa Ramos, A., 529
Brites, T., 336
Broseta-Sancho, P., 976
Bruno, R.L.A., 650
Buti Sarabia, M., 1124
Cabrera, F.J., 56
Callejón, A., 735
Callejón-Ferre, A. J., 348
Calvet Sanz, S., 809, 821
Calvo, L.F., 1178
Camacho, F., 661
Cámara-Hurtado, R.M., 639
Canada, J., 616
Canas, F., 607
Caro Garcia, F., 989
Carrero, J., 570
Casado Sanz, M., 1216
Castellanos, A., 1093
Castillo, S., 1067
Castillo-Ruiz, F.J., 308, 316
Castro, R., 1178
Castro, S., 967
Castro-Garcia, S., 308, 316
Cervera Gascó, J., 405, 416, 1047
Chieppe Jr, J.B., 17
Chueca, P., 293, 299
Cobos, L.E., 88
Colaço, A., 607
Colmenero-Martinez, J.T., 308
Correa, E.C., 877, 1082, 1190
Cortés, V., 1021, 1031, 1057, 1074
Costa, N., 616
Crespo, J., 516
Cubero, S., 589, 926, 936, 1021, 1031, 1039, 1057
Cuenca, A., 889
De la Fuente, J., 800
Del Campo, I., 791
del Castillo, A., 171
Del Sagrado, J., 45
Dias, A.B., 336
Díaz-Barcos, V., 877
Díaz-Espejo, A., 150
Diezma, B., 877, 1082
Dôres, J., 607
Duran-Ros, M., 142

Egea, G., 150, 159
 Enoque, E., 95
 Escalona, V., 1082
 Escandell-Montero, P., 1021
 Escarabajal Henarejos, D., 1009
 Espinosa, M.F., 589
 Estellés Barber, F., 809, 821
 Farish, M., 800
 Félix, D., 231
 Fernandes, L., 231
 Fernandes-Silva, A., 285
 Fernández, J.E., 150
 Fernández, M.D., 747, 758
 Fernández, M.M., 725, 735
 Fernández, M.S., 485
 Fernández-Cañero, R., 159
 Ferrán Gozávez, J.J., 358
 Ferrández-García, C.E., 380, 387, 393, 399, 461, 468
 Ferrández-García, M.T., 380, 387, 393, 399, 461, 468
 Ferrández-Villena, M., 380, 387, 393, 399, 461, 468
 Ferrarez, A. H., 26
 Ferrer Gisbert, C., 358
 Figueiredo, T., 285
 Flores Yepes, J.A., 439, 446
 Fradejas Sastre, J.L., 1170
 Franco-Salas, A., 159
 Gallego, E., 496
 Galvão da Silva Júnior, A., 26
 Gamarra-Diezma, J.L., 867, 889
 Garcerá, C., 293, 299
 García Fernández, J. L., 1139
 García Fernández, J.L., 1131
 García Fernandez-Pacheco, D., 589
 García Fernández-Pacheco, D., 926
 García Ramos, F.J., 242
 García, I., 68, 79
 García, M.E., 570
 García-García, M.J., 639
 García-Mateos, G., 998, 1009
 García-Moruno, L., 371, 553
 García-Ortuño, T., 380, 387, 393, 399, 461, 468
 García-Ramos, F.J., 88
 García-Ventura, C., 560, 639, 1158
 Garcimartín, M.A., 783
 Garrido, M., 958
 Gil, E., 242, 867
 Gilarranz-Casado, C.A., 1124
 Gil-Ribes, J.A., 308, 316, 867, 889
 Giménez M^a J., 1067
 Gimeno Blanes, J., 439, 446
 Gómez Arranz, M., 1082
 Gómez Díez, A., 582, 1170
 Gómez, J., 454
 González Barragán, M.I., 582, 1170
 González Castillo, J.A., 1131
 González Esquivá, J.M., 998, 1009
 González-García, C., 639
 Gonzalo-Vázquez, G., 1093
 Granados Albarrán, J.A., 897, 908
 Granell, R., 293
 Grijalvo, I., 1190
 Guaita, M., 516
 Guerra-Galdo, E.H., 809, 821
 Guerrero Fernández, I., 582, 1170
 Guillén-Dana, A., 889
 Gutierrez Martinez, P., 582
 Gutiérrez Martínez, P., 1170
 Gutiérrez-Grigeldo, T., 1124
 Guzmán, J.L., 856, 946
 Hernández, C., 45
 Hernández-Blanco, J., 371, 553
 Hernández-Hernández, J.L., 998, 1009
 Hernanz, J.L., 265, 275
 Hinojosa, A., 1082
 Ibarra Berrocal, I., 989
 Iglesias, D., 589
 Insa, J.A., 299
 Intrigliolo, D.S., 181
 Jeong, J.S., 371, 553
 Jiménez, A., 242
 Jiménez-Ariza, T., 877
 Jiménez-Jiménez, F., 308, 316
 Justicia Segovia, M., 897, 908
 Laserna Arcas, S., 405, 416, 1047
 León, N., 428
 Llorens, J., 867, 889
 López A., 682
 López Jiménez, A., 809, 821
 López Lineros, M., 897, 908
 López, A., 661, 671, 694, 701, 713
 López, J.C., 56
 López, S., 936
 López-Galarza, S., 189
 Lorente, D., 1021
 Lorenzana, J. A., 516
 Lourenço, J.M., 767
 Lucena Alcântara Bruno, 596

Machado da Rosa, L., 199, 208
 Madueño Luna, A., 897, 908
 Madueño Luna, J.M., 897, 908
 Maestre-Valero, J.F., 181
 Magalhães, L., 231
 Malón, H., 88
 Manzano, J., 189
 Marín Sánchez, U., 540
 Marín, P., 671, 682, 694, 701, 713
 Martínez Gabarrón, A., 439
 Martínez Gimeno, M.A., 189
 Martínez Nicolás, J.J., 540
 Martínez Rodríguez, A., 1216
 Martínez, J., 326, 958, 967
 Martínez, P., 250
 Martínez-Alvarez, V., 106
 Martínez-Esplá, A., 1067
 Martín-Gorriz, B., 106, 989
 Massana, J., 428, 783
 Mateos, A., 791
 Mateus, P., 767
 Melián Navarro, A., 540, 1103
 Mellado, M., 1074
 Mello, A.V., 776
 Mello, M., 776
 Mena, R., 946
 Mesquita, M., 199, 208
 Miguel Hernandez, B., 989
 Miñon Martínez, J., 26
 Miranda-Fuentes, A., 867, 889
 Mitchell, M., 800
 Moglia, J.G., 570
 Molina Martínez, J.M., 897, 908
 Molina Martínez, J.M., 833, 845, 1103
 Molina-Aiz, F.D., 661, 671, 682, 694, 701, 713
 Molina-Martínez, J.M., 998, 1009
 Moltó, E., 293, 299
 Moneo Peco, L., 439, 446
 Montero García, F., 529
 Montero Martínez, J., 405, 416, 1047
 Montero Riquelme, F., 529
 Montero-Parejo, M.J., 371, 553
 Mora, M., 219
 Moral R., 399
 Morales Sanchez, P., 989
 Moreda, G., 37, 1124
 Moreno Cerezo, D., 1139
 Moreno Hidalgo, M.A., 1047
 Moreno, J. C., 45
 Moreno, M.A., 171, 671, 682, 694, 701, 713
 Mota Barroso, J.M., 336
 Moya, M., 474, 496, 570
 Moya-González, A., 1190
 Munera-Picazo, S., 1021, 1031, 1039
 Muñoz Sánchez, A., 189
 Muñoz-García, M.A., 37, 1124
 Murcho, D., 95
 Nascimento dos Santos, 596
 Nascimento Jr, J.R.S., 650
 Navarrete, L., 265, 275
 Navarro, M., 1074
 Navas Gracia, L.M., 26
 Nortes, P.A., 181
 Oates, M., 833, 845
 Ojados Gonzalez, D., 989
 Oliveira Silva, 596
 Oliveira, H., 231
 Oliveros, C., 917
 Ortí García, E., 1114
 Ortiz C., 250
 Ortiz, C., 259, 1057, 1074, 1198
 Ortiz, M., 219
 Ovejero, I., 783, 791
 Páez, F., 725, 735
 Pastor Pérez, J.J., 439, 446
 Patanita, M., 607, 616
 Patanita, I., 616
 Patrocínio, S., 336
 Paz, S., 259
 Pereira de Andrade, 596
 Pereira, S., 336
 Pérez, A., 219
 Pérez, B., 68
 Pérez, J., 725
 Pérez, M., 250, 259
 Pérez, S., 1190
 Pérez-Alonso, J., 348
 Pérez-García, M., 56
 Pérez-Ruiz, M., 326, 958, 967
 Pérez-Urrestarazu, L., 159
 Pinilla Blanco, J., 582
 Pita, V., 336
 Planas, S., 299
 Ponciano de Deus, F., 199, 208
 Porras Prieto, C.J., 1131, 1139
 Prats-Moltalban, J.M., 926
 Precci Lopes, R., 26
 Prieto, F., 917

Puig-Bargués, J., 131, 142
 Pujol, T., 131, 142
 Rabasa, A., 219
 Ramírez de Alda, A., 79
 Ramírez de Cartagena, F., 131, 142
 Ramírez, A., 508
 Ramos, P., 917, 936
 Rebole, A., 791
 Redón Santafé, M., 358
 Relea Gangas, E., 1216
 Rincón, V.C., 725
 Rincón, V.J., 735
 Ríos, N., 570
 Rocamora Mora, Y., 118
 Rocamora, C., 219
 Rodrigo Fernández, R., 582, 1170
 Rodrigues, A.M., 767, 776
 Rodríguez, F., 45, 56, 946
 Rodríguez, J., 783
 Rodríguez, M., 791
 Rodríguez, M.R., 747, 758
 Rodríguez-Lizana, A., 889
 Román, C., 299
 Romero, R., 1207
 Rovira-Más, F., 976
 Royo, A., 68, 79
 Ruiz Canales, A., 833, 845, 897, 908, 1103
 Ruiz Mazarrón, F., 1131, 1139
 Ruiz-Altisent, M., 1190
 Sáiz-Rubio, V., 976
 Salcedo, R., 293
 Sánchez Romero, F.J., 358
 Sánchez, E., 783
 Sánchez, J. A., 45
 Sánchez, M.J., 265, 275
 Sánchez-Espinosa, E., 428
 Sánchez-Girón, V., 265, 275
 Sánchez-Hermosilla, J., 348, 725, 735
 Sánchez-Medina, A., 560, 1093, 1158
 Sánchez-Molina, J.A., 856, 946
 Sánchez-Pérez, C., 856
 Santamaría Peña, J., 625
 Sanz Adán, F., 625
 Serna Jara, L.M., 439, 446
 Serrano, M., 1067
 Silva, L.L., 95
 Slaughter, D.C., 958
 Sola-Guirado, R.R., 308, 316
 Soto-García, M., 106
 Souto, V.G., 747, 758
 Souza Silva, N., 26
 Souza, C., 231
 Suarez de Cepeda, M., 1207
 Talens, P., 1021, 1031, 1057, 1074
 Tarjuelo J.M., 171
 Tascón, A., 454, 508, 1149
 Tenorio, C., 1149
 Testezlaf, R., 199, 208
 Torregrosa Soler, J.B., 358
 Torregrosa, A., 250, 259, 1198
 Torrent, X., 299
 Torres, J. L., 68, 79
 Ursulino Alves, 596
 Val Manterola, L., 1114
 Valbuena Rabadán, M.A., 625
 Valera, D.L., 661, 671, 682, 694, 701, 713
 Valero, D., 1067
 Vallet, A., 293
 Vázquez de León, A., 833, 845
 Vázquez, J., 783
 Vidal, M., 88, 242
 Vidal, P., 485
 Villar, J.R., 474, 485, 516
 Villarroel, M., 800
 Wang, H., 37
 Xavier, P., 231